

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Porovnání programů QUCS a ATP-EMTP z hlediska simulací v
elektroenergetice**

**QUCS and ATP-EMTP Programs Comparison from Electric
Power Engineering Point of View**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Karel Štrbík

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Porovnání programů QUCS a ATP-EMTP z hlediska simulací v
elektroenergetice
QUCS and ATP-EMTP Programs Comparison from Electric Power
Engineering Point of View

Zásady pro vypracování:

Popis vlastností a specifik programů QUCS a ATP-EMTP
Simulace přechodných dějů
Description of QUCS and ATP-EMTP programmes
Transient phenomena simulations

Seznam doporučené odborné literatury:


manuály k ovládání programů
další dle doporučení vedoucího bakalářské práce

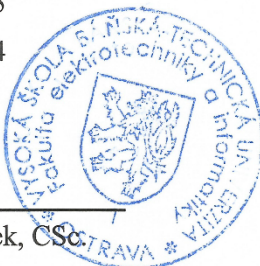
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 6. 5. 2014



.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Programů pro simulaci v elektroenergetice je v současné době velké množství, i když požadavky v tomto oboru jsou velmi specifické. Proto existují programy, které jsou jednoduché, ale i softwarové balíčky pro řešení složitějších problémů. Využívají se např. pro návrh a kontrolu reálných sítí nebo odhalení poruch před realizací. V této bakalářské práci jsem se věnoval dvěma simulačním programům a jejich podrobnějšímu popisu. Po teoretickém rozboru jsem předvedl i simulaci a její nastavení pro oba programy.

Klíčová slova

Simulace, VVN vedení, elektroenergetika, modelování, přechodové jevy, ATPDraw, QUCS

Abstract

Programs for simulating the electricity is currently a large amount, even if the requirements in this field are very specific. Therefore, there are programs that are simple, but also software packages for solving complex problems. They are used for example for the design and control of real networks or detect faults before execution. In this thesis, I concentrated on two simulation programs and their detailed description. After theoretical analysis i made simulation and setup for both programs.

Key words

Simulation, UHV lines, power engineering, modelling, transient effects, ATPDraw, QUCS

Seznam některých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
QUCS	Quite Universal Circus Simulator	Docela univerzální simulátor obvodů
GPL	General Public License	Všeobecná veřejná licence
GUI	Graphical User Interface	Grafické uživatelské rozhraní
USA	United States of America	Spojené státy americké
ATP	Alternative Transients Program	Alternativní program přechodových jevů
EMTP	Electromagnetic Transient Program	Program pro elektromagnetické přechodové jevy
UHV	Ultra high voltage	Velmi vysoké napětí

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretický úvod.....	2
	2.1 Model	2
	2.2 Modelování.....	2
	2.3 Systém.....	2
	2.4 Prvek systému.....	2
	2.5 Simulace.....	2
3	Úlohy simulované v energetice.....	3
	3.1 Přechodové děje.....	3
	3.2 Elektrické stroje	3
	3.2.1 Transformátory.....	3
	3.2.2 Motory a generátory	3
	3.3 Harmonická analýza.....	3
	3.4 Simulace sítě.....	4
	3.4.1 Stabilita sítě.....	4
	3.4.2 Zemní spojení.....	5
	3.4.3 Zkratové poměry	5
4	Qucs	6
	4.1 Pracovní prostředí	7
	4.1.1 Hlavní menu.....	7
	4.1.2 Hlavní nástrojová lišta	7
	4.1.3 Záložka s komponenty	8
	4.1.4 Záložka s projekty	8
	4.1.5 Záložka s obsahem	8
	4.1.6 Pracovní okno	8
	4.2 Ovládání programu	8
	4.2.1 Vkládání komponentů	8
	4.2.2 Propojování obvodových prvků	9
	4.2.3 Označování vodičů	9
	4.2.4 Grafy a měřidla	10

4.2.5	Speciální nástroje	11
4.3	Shrnutí teorie o programu QUCS.....	12
5	ATP-EMTP.....	14
5.1	Prostředky programu ATP – EMTP.....	15
5.2	Programy pro práci s ATP – EMTP	16
5.2.1	Grafický procesor ATPDraw	17
5.2.2	GTPPLOT	20
5.2.3	PlotXY	20
5.2.4	WPCPlot	20
5.3	Obvodové prvky	20
5.3.1	Propojování obvodových prvků	20
5.3.2	Zdroje	21
5.3.3	Spínače	21
5.3.4	Lineární prvky.....	21
5.3.5	Nelineární prvky.....	22
5.3.6	Transformátory.....	22
5.3.7	Měřicí prvky	22
5.3.8	Točivé elektrické stroje	22
5.4	Shrnutí teorie o programu ATP – EMTP	22
6	Praktický příklad simulace	24
6.1	Nastavení simulace a tvorba grafů.....	24
6.2	Simulace v programu QUCS	25
6.3	Simulace v programu ATP – EMTP	27
7	Přehled nasimulovaných průběhů	31
8	Poznátky z programů QUCS a ATP – EMTP.....	35
9	Závěr	36
10	Použitá literatura	37
11	Seznam obrázků	39
	Seznam tabulek.....	40

1 Úvod

V současné době je mnoho možností počítačové simulace v elektroenergetice. Požadavky v tomto oboru jsou velmi specifické z důvodu nutnosti často kombinovat mnoho jednotlivých technických disciplín. Přestože je takřka vždy třeba řešit elektrickou část problému, většinou přistupují další mechanické, hydromechanické, tepelné a další komponenty výsledného modelu. Z toho důvodu existuje v současnosti jak mnoho jednoduchých simulačních nástrojů, tak rovněž softwarové balíky s komplexními schopnostmi co do oborového záběru, tak složitosti problému až po diferenciální úlohy v časové i prostorové oblasti. Jelikož je v dnešní době nepřehledné množství simulačních programů, zaměřuje se moje bakalářská práce na program QUCS a ATP-EMTP.

2 Teoretický úvod

Důležitou věcí ještě před samotným popisem programů a simulací je třeba popsat a vysvětlit základní pojmy ohledně simulací a modelování. Nutnou věcí je definovat si danou terminologii, aby nedocházelo k rozporu či neshodám s jinou literaturou.

2.1 Model

Reprezentuje určitý objekt nebo systém, který poskytuje předlohu. V modelování či simulacích se termín model používá pro analogii mezi systémy (modelovaný a modelující). Každému prvku modelovaného systému je přiřazen prvek modelujícího systému a dále pak každému prvku je přiřazen atribut a v poslední řadě všem atributům je přidělena specifická relace. [2]

2.2 Modelování

Pod tímto pojmem si můžeme představit činnost, při které prostřednictvím jednoho systému získáváme informace o jiném systému (modelu). Nahrazujeme tak zkoumaný systém jeho modelem, který svými parametry a chováním odpovídá skutečnému systému. Hlavní výhodou modelování je řešení různých systémů a jejich problémů v krátkém časovém úseku. V některých případech jediný možný způsob jak bezpečně a taky levně odzkoušet reálné systémy. [1]

Základní kroky modelování:

1. Formulace problému
2. Základní návrh a tvorba problému
3. Verifikace a validace
4. Simulace a analýza výsledků

2.3 Systém

Je soubor základních částí, různých prvků systému, které mají mezi sebou určité vazby. Jelikož model je také určitý systém, využíváme této podobnosti u modelování. [2]

2.4 Prvek systému

Základní a poté už nedělitelnou složkou systému, pomocí prvku definujeme další části, nebo jejich vzájemné vazby a parametry, které určují chování celého modelovaného systému. [2]

2.5 Simulace

Za simulaci považujeme úkon, kdy zkoumaný systém nahrazujeme modelem a ten poté podrobujeme změnám či experimentům. Díky ní určíme chování, průběh a vlastnosti v imaginárním prostředí. Simulace by měla zahrnovat také ověření modelu, aby bylo zajištěno, že model se v ní chová stejně jako by se choval ve skutečnosti. [3]

3 Úlohy simulované v energetice

Jako každý technický obor tak i elektroenergetika klade na simulační programy svoje specifické požadavky. Požadavky jsou dány skutečnými situacemi, které ve skutečnosti mohou nastat. Proto bych chtěl v této kapitole rozepsat stěžejní situace, na které při modelování v energetice můžeme narazit.

3.1 Přechodové děje

Je to jev, který probíhá mezi dvěma ustálenými stavy obvodu. Příčin přechodových jevů je spousta a různých časových intervalů. Jednou z hlavních příčin je náhlá změna poměrů v obvodu (nejčastěji změna napětí nebo proudu). Přechodový děj může být vyvolán i změnou teploty nebo světlocitlivého prvku. Mezi přechodové děje patří také nepředvídatelné jevy např. úder blesku nebo porušení kabelové izolace. [4]

Jednoduché modely se dají řešit pomocí diferenciálních rovnic, ale složitější pak pomocí maticových počtů a Laplaceovy transformace, které kladou vyšší nároky na počítačové modelování. Modely poté validujeme na základě naměřených hodnot u skutečných přechodových dějů. [2]

3.2 Elektrické stroje

Jelikož elektrických strojů je velké množství, zmíním zde pouze jen základní. Při projektování elektrických strojů se v dnešní době bez výhrady používá počítačové techniky, jelikož by následné chyby v konstrukci byly finančně nákladné. Díky simulaci jsou pak tyto chyby snadněji odhalitelné a rychle opravitelné. [2]

3.2.1 Transformátory

Při simulaci transformátorů se vychází z jeho náhradního schématu (modelu) ke kterému přiřadíme dané parametry. Při výpočtech pak musíme dbát na to, aby se za provozu transformátor nepřetěžoval nebo nedošlo k poruše a následnému poškození transformátoru. Díky simulaci můžeme sledovat jeho vliv na celou síť. Pokud z nějakého důvodu model neodpovídá, nebo selže, použijeme model, který odpovídá reálnému transformátoru. [2]

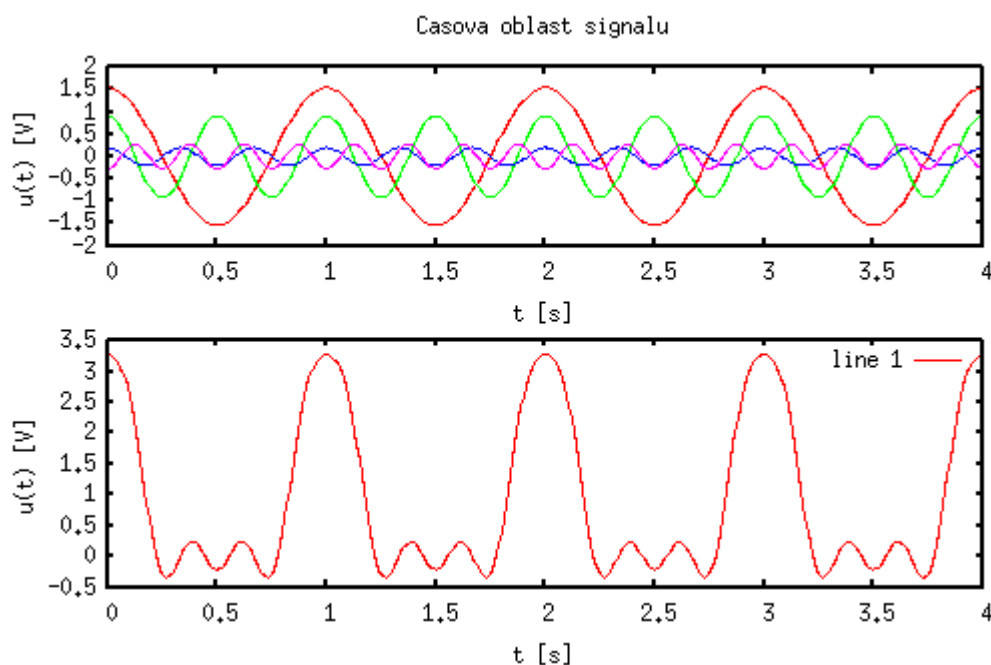
3.2.2 Motory a generátory

Návrh těchto elektrických strojů je velmi složitý, je třeba dbát na mnoho aspektů. Nejen na část elektrickou, ale také část mechanickou. Musíme počítat s objemovou roztažností některých částí, s hmotností a setrvačností rotačních částí. Proto klademe důraz na důkladné testování před tím, než je uveden stroj do výroby. [2]

3.3 Harmonická analýza

Generování vyšších harmonických regulovanými pohony je určitou formou znečištění elektrické sítě, které způsobují vážné problémy. Dají se poznat jednoduše od blikajícího osvětlení, až po extrémní kdy explodují kondenzátory. Nikdy se však nesmí ignorovat. Zkreslení sítě může mít tak za následek

závažné škody. Přehřívání transformátorů, i když jsou správně dimenzovány. U kabelů může dojít k porušení izolace či dokonce k přetržení celého kabelu. Rovněž motory se mohou přehřát nebo se mohou stát hlučnými a oscilace může vést k mechanické rezonanci a škodlivým vibracím. [5]



Obr. 1 – Čtyři harmonické složky

Proto při simulaci je třeba vytvořit modely pro jednotlivé prvky, u kterých se sledují časově závislé veličiny obvodu a jejich odezvy. Z vyšších harmonických je třeba dávat pozor na 3. harmonickou, která způsobuje nadměrné zatížení středního vodiče.

3.4 Simulace sítě

U této simulace dbáme na to, aby byly optimalizovány konstrukční prvky při předem stanovených požadavcích a zároveň nebyly finančně náročné. Ve většině případů se proto vychází ze zjednodušených modelů trojfázových sítí a každý tento model musí být poté popsán charakteristickými vlastnostmi. [2]

3.4.1 Stabilita sítě

V elektroenergetice považujeme za stabilní síť takovou, která stále hlavní parametry jako je konstantní napětí, frekvence atd. Z velké části stabilitu ovlivňují výkyvy odběr elektrické energie. Vyšší pozornost se musí tak věnovat odběrům a zdrojům s vyšší prioritou, protože při výpadku zdroje s vyšší prioritou nemusí nahradit zdroji menšími a může tak dojít k následnému zhroucení soustavy. Díky simulaci můžeme být včasné varování před nestabilitou i před výpadkem. Simulace také zjednodušuje vyhodnocení skutečné příčiny a následné stanovení nápravného postupu. [2]

3.4.2 Zemní spojení

Třífázové síť provozované s izolovaným uzlem nebo v sítích kompenzovaných, ve kterých je uzel spojen se zemí přes zhášecí tlumivku nebo v nichž je vytvořen uměle nulový bod pomocí zhášecího transformátoru nazýváme vodivé spojení jedné fáze se zemí. Proud, který prochází místem zemního spojení, není téměř závislý na vzdálenosti od zdroje. Nežádoucí spojení nezpůsobí zkratový proud, ale pouze malý kapacitní proud a proto také nevybaví zkratové ochrany. Při simulacích se tak snažíme zjistit, jak se síť bude chovat při zemním spojení na různých místech. [6]

3.4.3 Zkratové poměry

Nejzávažnější poruchou v rozvodné síti představuje zkrat na vedení, protože zkratové proudy jsou omezeny reaktancí vedení, která je velmi nízká, a tudíž v době zkratu tečou ve vedení vysoké zkratové proudy. Tyto zkraty pak ohrožují nainstalované zařízení z tepelného i mechanického působení. Nabízí se tedy jediná bezpečná možnost jak chování zkratů zkoumat a experimentovat s nimi. Můžeme tak zkraty nasimulovat v různých místech a individuálním nastavením sítě. Přitom získáváme potřebné informace pro následné nastavení ochran tak, aby byly co nejefektivnější a minimalizovaly tak škody a došlo k odpojení pouze postižené částí vedení. [7]

4 Qucs

Prvním určeným je volně dostupný simulační program QUCS (Quite Universal Circuit Simulator). Slouží pro tvorbu elektrických obvodů v grafickém rozhraní pracující v prostředí MS Windows, Ubuntu tak i OSX. Je distribuován pod licencí GPL (General Public License). Tato licence umožňuje, že je program volně dostupný pro všechny a svobodně modifikovatelný. Vývoj toho programu trval 5 let a stále ještě není zcela dokončen. Stále se pracuje na zdokonalování a postupném vývoji nových verzí.

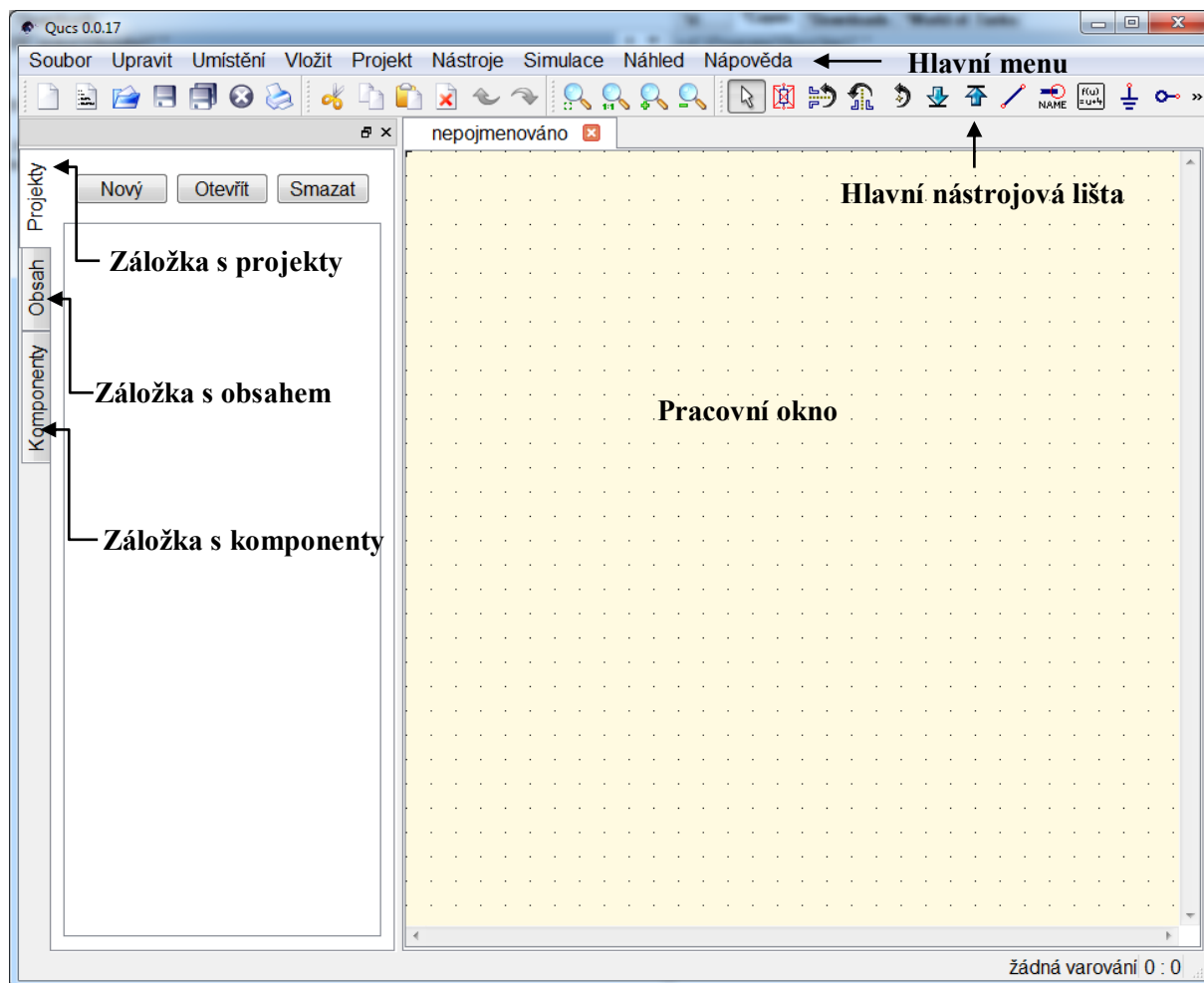
Qucs je simulátor s integrovanými obvody což znamená, že je možné nastavit obvod s grafickým uživatelským rozhraním GUI (Graphical User Interface) a simulovat signály s velkou i malou amplitudou nebo šum v obvodu. Čistě digitální simulace podporují využívání VHDLg nebo Verilog-HDL.

Qucs je vícejazyčný program v tomto případě to znamená, že závisí na jazyku, kterým je nainstalován váš operační systém. Je snadno ovladatelný díky způsobu Drag&Drop. [8]

Program je značně pokročilý a umožňuje nastavení schémat a prezentaci výsledků simulací různých typů diagramů. Má implementovány simulace střídavé, stejnosměrné, harmonického vyvážení, časovou simulaci, simulaci S-parametrů a digitální simulaci. Je možné využívat také matematické rovnice a úpravu integrovaných obvodů. Do programu lze také importovat existující modely Spice pro použití v simulacích. Přichází tak s obrovskou škálou komponentů a modelů. Poskytuje také mnoho polovodičových komponentů a modelů, jako jsou například operační zesilovače, diody, tranzistory MOSFET, PMOSFET a mnoho dalších.

4.1 Pracovní prostředí

Pracovní prostředí je velmi jednoduché a skládá se z několika hlavních částí. Jedná se o hlavní menu, hlavní nástrojovou lištu, pracovní okno, záložku s komponenty, záložku s projekty a záložku s obsahem.



Obr. 2 – Hlavní okno programu QUCS

4.1.1 Hlavní menu

Hlavní menu není třeba zdlouhavě popisovat a naleznete zde nastavení celého programu nebo už klasické ukládání a načítání projektů.

4.1.2 Hlavní nástrojová lišta

Hlavní nástrojová lišta nám umožní rychlejší přístup k základním funkcím, jako jsou „Nový“, „Otevřít“, „Uložit“, „Tisk“ atd. K těmto funkcím se můžeme dostat přes nabídku z hlavního menu. Nachází se zde také snadný přístup k často používaným volbám při modelování, což jsou „Vodič“, „Označení vodiče“ nebo „Vložit uzemnění“.

4.1.3 Záložka s komponenty

Záložka s komponenty obsahuje všechny nejběžnější obvodové prvky, se kterými můžeme pracovat. Záložka nám nabídne roletové menu, ve kterém jsou jednotlivé prvky rozčleněny do skupin podle druhu. Pokud však dále hledáme specifický komponent, je třeba přejít do knihovny s obvodovými prvky.

4.1.4 Záložka s projekty

Jednoduchý přehled nad ostatními projekty. Snadný přístup k zavřeným nebo rozpracovaným simulacím. V této záložce je také možné projekty mazat.

4.1.5 Záložka s obsahem

V záložce obsah se nachází všechna data, co se týkají projektu. Obsahuje schéma, VHDL soubory a veškerá data potřebná k simulaci.

4.1.6 Pracovní okno

Pracovní okno je nejdůležitější část pracovního prostředí. Přímě zde se navrhuje celý model. Okno nám neslouží pouze jen k vytváření celých modelů, ale taky k editaci jednotlivých komponentů, ze kterých se model skládá.

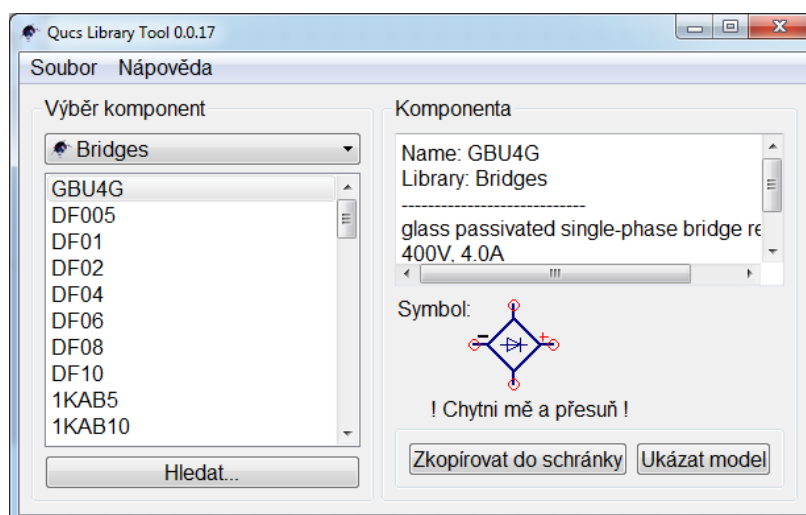
4.2 Ovládání programu

V této kapitole je třeba si popsat ovládání program QUCS, jeho základních funkce a vlastnosti.

4.2.1 Vkládání komponentů

Při vkládání komponentů se nám nabízí dvě varianty jak to provést. První metoda je přes záložku „Komponenty“ a jednoduše si v roletovém menu vybrat kategorii. Snadným způsobem Drag&Drop pak se dá komponent jednoduše přenést do pracovního okna. Tento způsob je nejrychlejší, ale bohužel nás omezuje ve výběru komponentů. Při potřebě vložit specifitější obvodový prvek je třeba zvolit variantu druhou.

Proto, abychom se dostali k rozšířené nabídce všech obvodových prvků, je třeba otevřít hlavní knihovnu. Tuto knihovnu najdeme v hlavním menu pod volbou „Nástroje“ nebo pod klávesovou zkratkou „Ctrl + 4“. Z knihovny lze prvky přesouvat dvěma způsoby. Klasickou metodou přetáhnutí ikony prvku do „Pracovního okna“ nebo jednoduše stisknout tlačítko „Zkopírovat do schránky“ a poté vložit do „Pracovního okna“.



Obr. 3 – Knihovna komponentů v programu QUCS

4.2.2 Propojování obvodových prvků

Po vložení obvodových prvků je třeba je vodičě pospojovat. K tomu nám slouží ikona „Vodič“, která se nachází v „Hlavní nástrojové liště“ nebo klávesová zkratka „Ctrl + E“. Pro propojení dvou a více součástek stačí jednoduše kliknout na červený uzel součástky a roztáhnout k dalšímu prvku či spojení. Zalomení propojovacího drátu je dáno pouze v úhlu 90°.



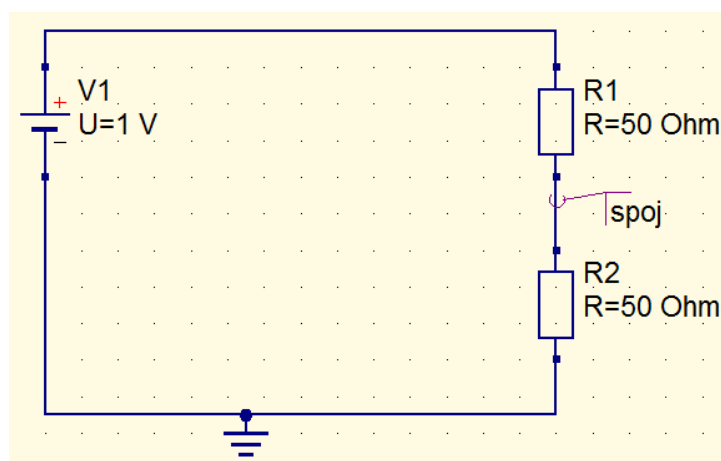
Obr. 4 – Ikona funkce „Vodič“

4.2.3 Označování vodičů

Tato funkce slouží k označování vodičů, ale také díky ní můžeme v simulaci vykreslit průběh v daném místě nebo pouze vypsát hodnotu napětí. Funkci vyvoláme buďto dvojitém kliknutím na příslušný drát, ikonou, kterou najdeme na „Hlavní nástrojové liště“ nebo klávesovou zkratkou „Ctrl + L“. Poté co se nám zobrazí okno, můžeme do něj vložit krátký popis.



Obr. 5 – Ikona funkce „Označení vodiče“



Obr. 6 – Obvod s popiskem „spoj“

4.2.4 Grafy a měřidla

Grafický výstup z programu je pro nás velmi důležitý prvek při každé simulaci, díky grafickému výstupu si můžeme udělat okamžitou představu o chování obvodu. Vkládáme je do další záložky, která se automaticky vytvoří po simulaci. Pomocí LaTeXového pojmenování je možné do textových polí vložit speciální znaky (řecké znaky). Výhodou programu QUCS je možnost exportování dat z grafu do souboru *.csv, který je možné otevřít např. v Excelu a grafy si tak upravit podle svého, jen je potřeba dbát na to aby se v datech zaměnil oddělovací prvek „.“ za „;“. Simulační program QUCS umožňuje vytvářet několik druhů grafů:

- Tabulka
- Kartézský graf
- Amplitudově fázový graf
- Kombinovaně polární graf
- Polární graf
- Smithův diagram
- Logická tabulka
- 3D-kartézský graf
- Časový diagram

Tabulka

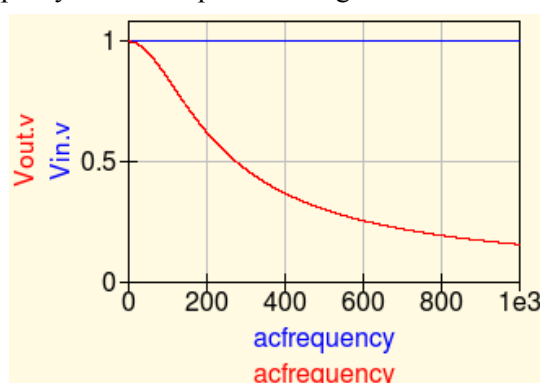
Slouží k vypsání hodnot z měřících přístrojů nebo z označených vodičů.

number	spoj.V
1	0.5

Obr. 7 – Ukázka tabulky

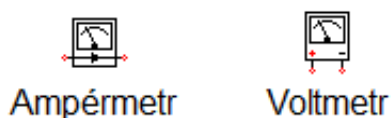
Kartézský graf

Nejběžnější způsob při vykreslování průběhů. V grafu se dá zobrazit několik průběhů najednou.



Obr. 8 – Ukázka kartézského grafu

Měřidla jsou nedílnou součástí programu. V programu QUCS je najdeme v komponentech pod kategorií „Sondy“. K použití se nám nabízí pouze dva a to voltmetr a ampérmetr.

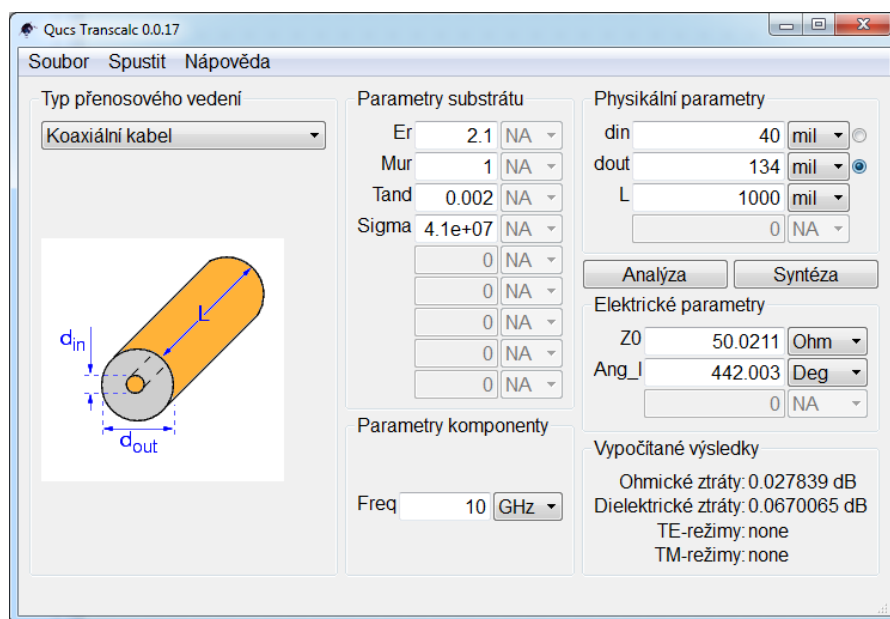


Obr. 9 – Komponenty voltmetr a ampérmetr

4.2.5 Speciální nástroje

V programu jsou také implementovány nástroje, které ulehčují práci s programem. Usnadňují a urychlují tak práci jinak časově náročnou.

1. **Qucs transcale** ulehčuje návrhy vysokofrekvenčních obvodů. Počítá samostatné mikropásmové vedení, vázané mikropásmové vedení, vlnovody a koaxiální vedení. V nástroji už pouze nastavujeme požadované rozměry a parametry substrátu. Program pak vyhodnotí vlnovou impedanci a úhel, popřípadě další specifické parametry.



Obr. 10 – Ukázka z nástroje transcalc

2. **QucsFilter** tento nástroj slouží k automatickému návrhu LC filtrů. Program nám nabízí na výběr z těchto:

- Besselův
- Čebyševův
- Butterworthův
- Caurovův

Po zvolení typu filtru je třeba zadat impedanci, frekvence a řád filtru. Po výpočtu se schéma vkládá do hlavního schématu.

3. **Matching Circuit** vytváří náhradní LC schémata na základě vložených S-parametrů, vstupní a výstupní impedance. Vytvoří jedno i dvouportové náhradní schéma, které je možné vložit do hlavního schématu.
4. **Qucs Attenuator** slouží k vytvoření náhradního schématu pro útlumové články T, π a přemostěný T. Funkce těchto článků je z hlediska efektivity přesně opačná než funkce zesilovače. Pro vytvoření článku je třeba zadat útlum, vstupní a výstupní impedanci. Program pak vypočítá hodnoty jednotlivých odporů.
5. **Component Library** v tomto nástroji najdeme některé z průmyslově vyráběných součástek pro elektrotechniku. Na webových stránkách programu je popsán postup, jak do knihoven přidávat vlastní obvodové komponenty.

4.3 Shrnutí teorie o programu QUCS

Program QUCS je stále ještě ve vývoji přesto se dá naprosto plně využívat. Sada komponent, která je k dispozici, naprosto plně dostačuje k běžnému i odbornějšímu využití. QUCS je vyvíjen nejen pro energetiku, ale nalezneme zde komponenty i pro fyziku. Aplikace nabízí poměrně příjemné a

intuitivní ovládání. Je možné jej použít jak pro náročnější simulace, tak pro domácí experimentování či praktickou výuku.

Za jeho největší výhodu bych považoval jednoduchost, s jakou se dá program ovládat. Vše probíhá metodou Drag&Drop. Velkou výhodou je možnost tvoření poměrně zdařilých grafů a nejrůznějších charakteristik či exportování simulovaných dat, které automaticky odděluje od schématu do další záložky. Práce s grafy je pak přehlednější. Dokáže exportovat i do VHDL (Very high speed integrated Circuit Hardware Description Language), který se používá v profesionální simulaci obvodů. Každé komponentě je navíc možné nastavit patřičné vlastnosti a tím si je přizpůsobit podle vlastního použití. Program umožňuje možnost deaktivovat jednotlivé prvky bez toho, aby se muselo zasahovat do modelu a prvky mazat z obvodu. Velmi užitečná je komponenta umožňující přepočítávání a analyzování nasimulovaných hodnot „Equation“. Za drobnou výhodu bych považoval i lokalizaci do českého jazyka a preferenci u nás používaných označení prvků před těmi z USA (varianta pro obě označení je pouze u rezistoru). Program je zcela zdarma a neplatí se ani poplatky za jeho použití či modifikaci.

QUCS má však i své nevýhody. Program exportuje grafy a schémata pouze do postskriptu, ten se dá však jednoduše konvertovat na jiné grafické formáty. Nedokáže vykonávat simulaci v reálném čase a po každé změně v obvodě je třeba provést novou simulaci.

5 ATP-EMTP

Jako druhý program ze zadání je ATP – EMTP. Program je postupně vyvíjen ve spolupráci

Dr. W. Scotta Meyera a Dr. Tsu-Huei Liu od roku 1984. Byl speciálně vyvinutý pro řešení problémů energetických systémů. Je používán na řešení algebraických, diferenciálních a parciálních rovnic, které popisují obvody skládající se z libovolných propojených prvků. Stanovuje tak časový průběh elektrických veličin charakterizující poměry v elektrických sítích. Lze díky němu řešit i komplikované a rozsáhlé elektrické sítě a řídicí systémy. Má také pokročilé modelovací schopnosti a další vlastnosti, které rozšiřují jeho oblast aplikace i mimo přechodné děje.[9]

Původní algoritmy programu vznikali pro počítače třídy mainframe se sloupcově orientovanou strukturou vstupních dat, které pracovali s děrovanými šítkami. Základním jazykem zdrojového programu ATP byl FORTRAN, později byli pro různé typy počítačů a pracovní stanice s různými platformami operačních systémů zhotoveny hardwarově závislé překladače. V tomto programu můžou být simulovány sítě a kontrolní systémy různé struktury. Program má rozsáhlé možnosti modelování a další přídavné prostředky pro výpočet přechodových jevů. Diferenciální funkce v časové oblasti jsou řešeny základními lichoběžníkovými pravidly integrace. Standardně je možné modelovat síť s 250 uzly, 300 lineárními větvemi, 40 vypínači, 50 zdroji. Program je možné využívat v jedno i vícefázových sítích pro výpočty:

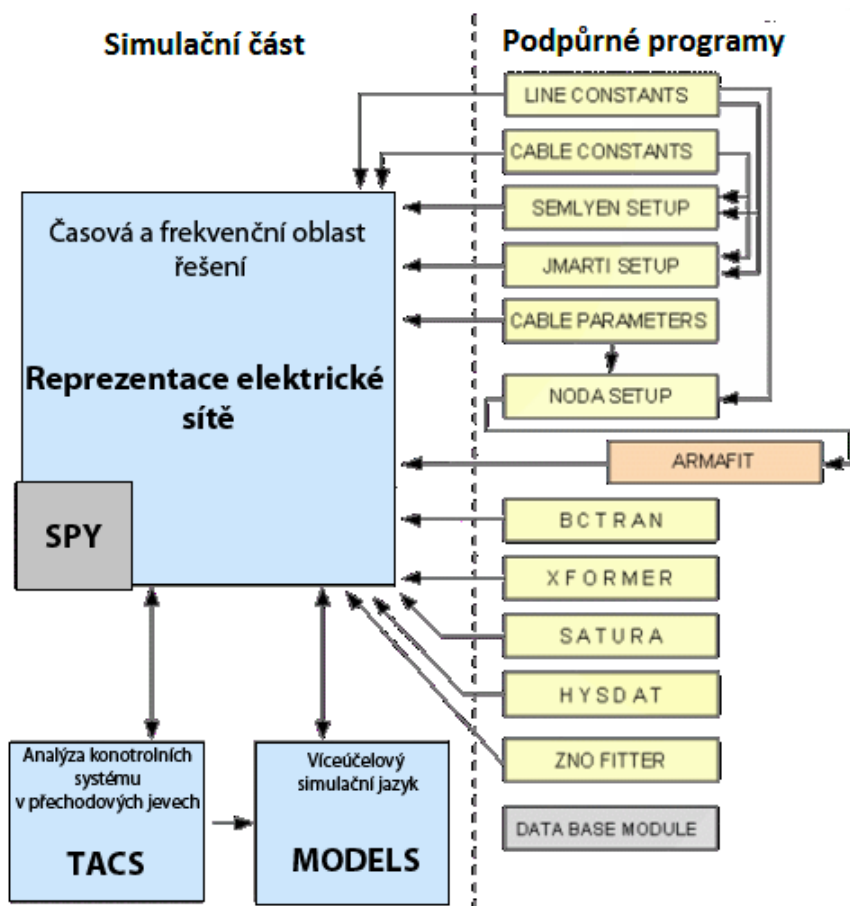
- Ustálených hodnot fázorů v lineárních i nelineárních systémech s jednosměrnými a střídavými zdroji jedné nebo vícero frekvencí.
- Ustálených fázorů v systémech, kde je frekvence střídavých zdrojů plynule přeměněna po krocích daných programem – frekvenční charakteristiky.
- Výpočty energii uvolněných nebo akumulovaných v prvcích.
- Dynamiky kontrolního systému. Modelování kontrolních systémů umožňují procedury TACS (Transient Analysis of Control Systems), které vykonávají analýzu kontrolních systémů v přechodných stavech. Podprogram umožňuje simulovat přenosové funkce, logické obvody, integrátory, omezovače a další podobné bloky. Můžou samostatně zpracovávat vstupní hodnoty elektrické sítě a generovat signály pro kontrolní a řídicí účely.
- Elektromagnetických přechodových jevů a torzní dynamiky hřídele rotoru generátoru nebo turbíny. S využitím procedury TACS je možné například řešit rychlostní regulátory turbosoustrojí.

Prvky pro řešení algebraických, diferenciálních a parciálních rovnic:

- Prvky se soustředěnými parametry R, L, C.
- Prvky se vzájemnou vazbou (transformátory, vedení).
- Vícefázové přenosové vedení s prostorově soustředěnými i rozloženými parametry, které můžou být frekvenčně závislé.
- Nelineární prvky R, L, C.

- Spínače s proměnlivými spínacími podmínkami určené na simulaci jističů, jiskřišť, diod, tyristorů a jiných změn v konektivitě sítě.
- Napětové a proudové zdroje různých frekvencí. Kromě standardních matematických funkcí je možná nadefinovat zdroje jako funkce času bod po bodě.
- Model trojfázového synchronního stroje s rotorem, budícím vynutím, tlumícím vynutím a pružným hmotnostním systémem na simulaci torzních oscilací.
- Modely univerzálního stroje na simulaci trojfázového indukčního stroje, jednofázového střídavého stroje a jednosměrných strojů.
- Prvky kontrolního systému a snímacích bodů. [11]

5.1 Prostředky programu ATP – EMTP



Obr. 11 – Moduly programu ATP - EMTP

ATP – EMTP jako univerzální program na digitální simulaci elektromagnetických a elektromagnetických přechodových jevů v silových systémech, má rozsáhlé modelovací schopnosti. Při aktuálních simulačních modulech tady existuje několik podpůrných programů, které mohou být použité na generování datových modelů, jako jsou např. výpočet parametrů vedení nebo derivace vazebně spojených RL matic na reprezentaci víceřázkových vícevinutových transformátorů v časové oblasti

simulace. Schematický přehled dostupných simulačních modulů a podpůrných programů s jejich vzájemnou interakcí je na Obr. 11. [11]

TACS je simulační modul na analýzu kontrolních systémů v časové oblasti. Řídicí systémy jsou reprezentovány použitím blokových diagramů. Spolupráce mezi elektrickou sítí a TACS je založena na výměně signálů jako jsou informace o uzlovém napětí, proudě vypínačů, poloze vypínačů, časově proměnných odporů, napěťových a proudových zdrojů. TACS jako simulační modul byl původně vyvinutý na simulaci řízení vysokonapěťových jednosměrných převodníků, použití je však dnes rozšířenější. Používá se i na simulaci budících systémů synchronních strojů, jiskřišť na omezení proudu v bleskojistkách, elektrického oblouku (výkonových vypínačů a obloukových poruch), silové elektroniky a pohonů a na simulaci ostatních jevů, které jsou přímo modelované existujícími prvky v ATP.

MODELS patří spolu s TACS mezi simulační moduly. Je to víceúčelový popisovací jazyk používaný k vytváření vlastních objektů, uživatelem definovaných kontrolních a elektrických obvodových komponentů při práci s programem. Je podporovaný dalšími simulačními nástroji a může být použitý pro zpracování simulačních výsledků jak v časové, tak ve frekvenční oblasti.[10]

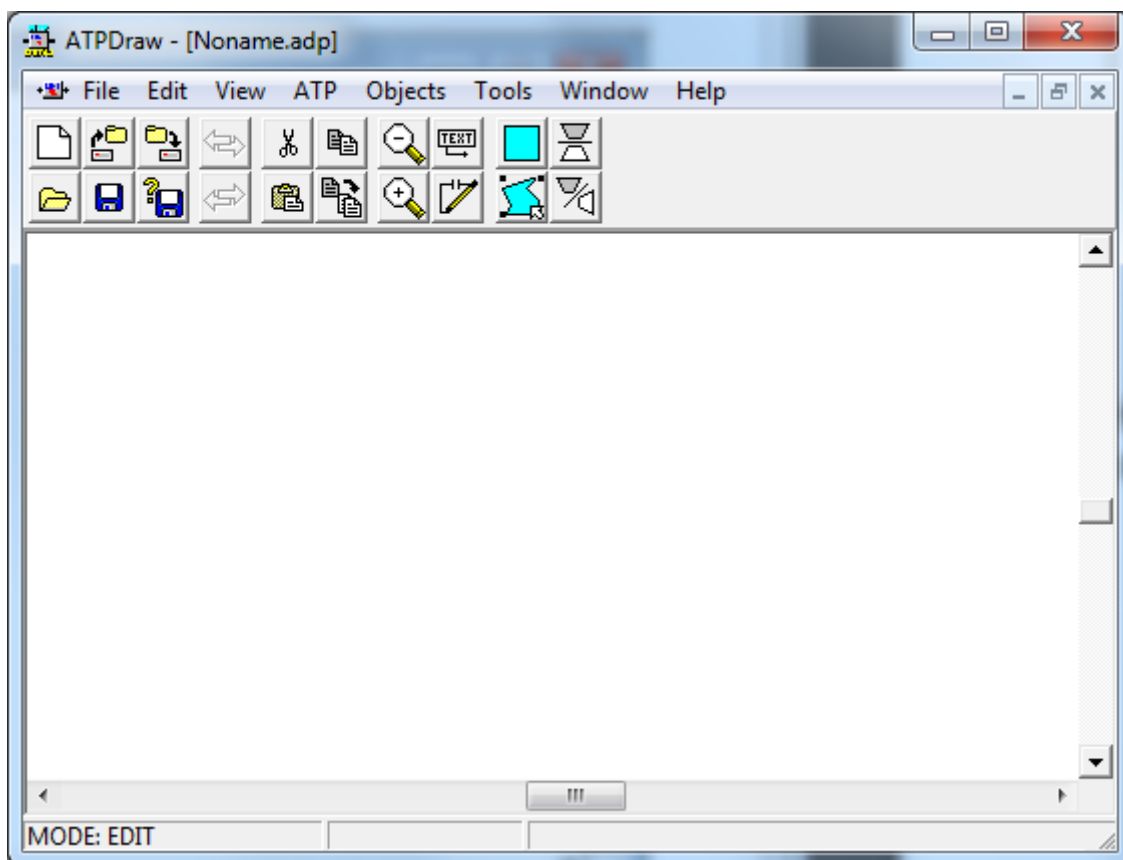
5.2 Programy pro práci s ATP – EMTP

Samotný program ATP je program výpočtový. Pro zřehlednění práce s tímto program, možnost editace jednotlivých typů souborů zapojených do spolupráce při řešení obvodů simulovaných v ATP a v neposlední řadě kvůli zjednodušení vizuálního vytváření jednotlivých obvodů byla vytvořena řada užitečných programů. Patří tu podpůrné programy, jako jsou:

- ATPDraw – grafický procesor
- PCPlot, PlotXY, GTPPlot – grafické výstupy ATP,
- Programmer's File Editor (PFE) – textový editor na vytváření a editaci vstupních souborů
- ATP Control Center – program soustředující ovládání těchto programů do jednoho okna

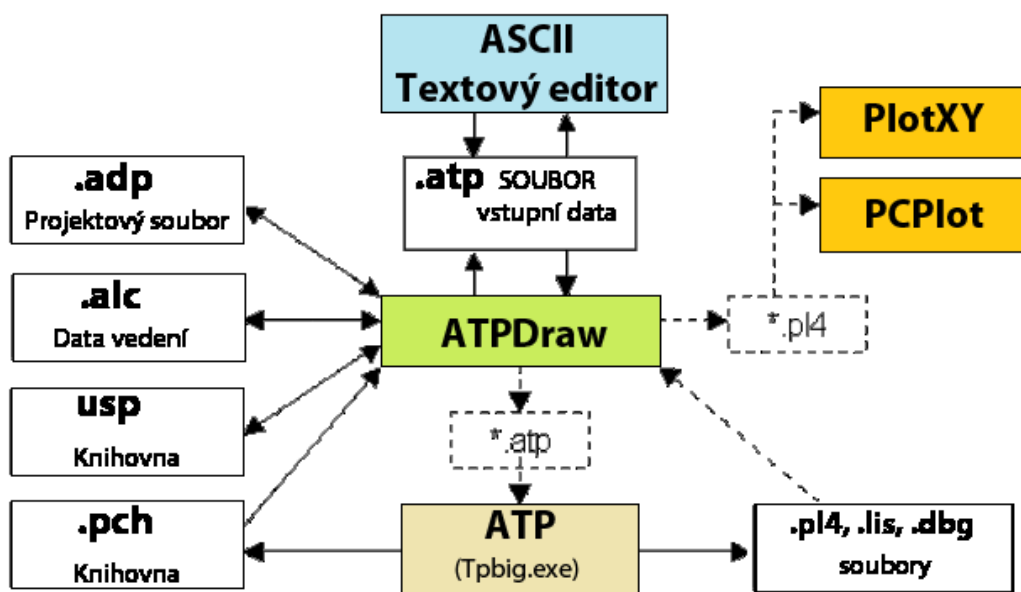
5.2.1 Grafický procesor ATPDraw

ATP – EMTP jako simulační systém obsahuje kromě výpočetního programu rozdílné oddělené podpůrné programy a inicializační soubory. Například použití ATP Control Center může být ATPDraw použitý jako simulační centrum, které poskytuje operační kostru pro ostatní součásti ATP. Takto je možné spouštět externí procesy jako i přímo vykonávat výpočty v ATP. Také se dají z ATPDraw spustit postprocesory a externí podpůrné programy.



Obr. 12 – Hlavní okno programu ATPDraw

Na Obr. 13 můžeme vidět přehled tradičního použití programu. Součásti ATP komunikují přes diskové soubory, výstupy procesorů jsou používány jako vstup pro hlavní program a produkty simulace mohou být použity jako vstupy pro programy na vykreslení přítomnosti ovládacího programu, který kontroluje vykonávání jiných programů a datových vstupů a výstupu je velkou výhodou.



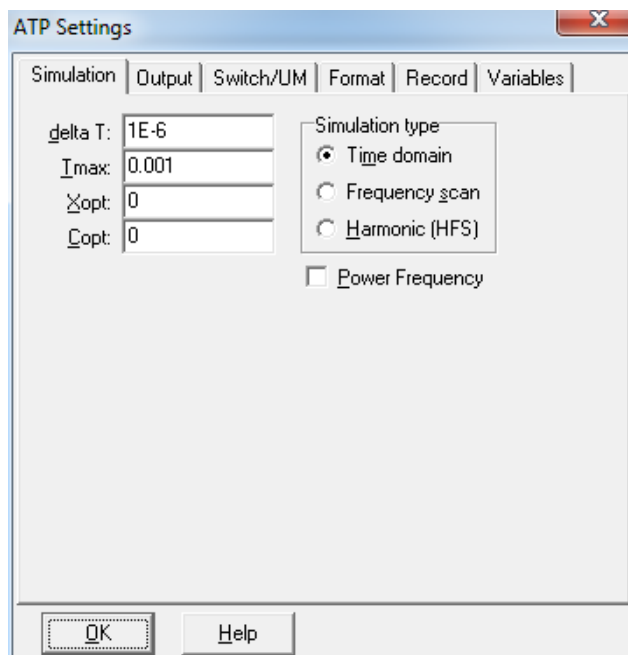
Obr. 13 – Schématický přehled práce s programem ATP- EMTP

Zde na Obr. 13 je také zobrazeno zjednodušené schéma funkcí programu ATP s ATPDraw jako grafickou nadstavbou a centrálním uživatelským programem. Plné čáry znamenají přenos dat a čárkované přenos informací. Výstupem nebo vstupem této grafické nadstavby jsou soubory s příponou *.adp určené pro archivaci vytvořeného schématu, dále soubory s příponou *.atp s 80 znakovou řádkovou strukturou určené pro výpočtové jádro ATP se spouštěcím programem TpbigW.exe. Dalším výstupem ATPDraw jsou pomocné soubory s koncovkami *.pch, *.lib, *.alc, v kterých je možné definovat vlastnosti vícenásobného použití obvodových elementů.

ATPDraw je grafický, myší ovládaný procesor k ATP verzi programu pro elektromagnetické přechodové jevy (EMTP). V programu může uživatel konstruovat elektrické obvody vybráním předdefinovaných komponentů z menu knihoven. Procesor potom vytváří korespondující vstupní soubor *.atp v korektním formátu. Označení uzlů sítě probíhá automaticky, případně je může uživatel pojmenovat podle sebe. Uzly jsou v programu důležité, protože se prakticky celý výpočet zaměřuje na vypočítávání hodnot napětí, proudů nebo energie v daných uzlech sítě nebo ve formě rozdílu mezi uzly sítě. Program podporuje 64 standartních prvků a 24 objektů TACS, umožňuje zjednodušené použití modulu MODELS, navíc tu může uživatel vytvářet obvodové objekty. Základem simulovaných obvodů jsou jedno- a trojfázové prvky.

V programu je možné vytvářet vícenásobné okna s řešenými obvody, pracovat na několika obvodech současně a kopírovat mezi nimi informace. V rámci obvodů jsou k dispozici funkce typu kopírovat-vložit objekty, sloučit - rozdělovat, exportovat - importovat apod. Další funkce programu ATPDraw jsou: vestavěný editor pro soubory *.atp, podpora pro vstup a výstup souborů ve formátu Windows Metafile/Bitmap nebo PostScript. Preprocesor obsahuje i program ATP LCC pro parametry Line/Cable. Významnou součástí je i možnost budování vlastních knihoven obvodů. [11]

Parametry pro samotnou simulaci musíme nastavit v menu ATP přes tlačítko „SETTINGS“ nebo klávesovou zkratku „F3“.



Obr. 14 – Nastavení simulace

V políčku „delta T“ se nastaví časový krok simulace, pro nastavení doby trvání simulace vkládáme hodnoty do políčka „Tmax.“ V dalším kroku máme možnost nastavit typ simulace, na výběr máme „Time domain“ nebo frekvenční analýzu „Frequency scan“. Pokud nastavíme hodnotu „Xopt“ na hodnotu 0 bude hodnota induktoru charakterizována indukčností (mH), ale pokud bude Xopt= nastavené frekvenci bude hodnota induktoru charakterizována reaktancí (Ω). Políčko „Copt“ definuje hodnotu kapacitoru, v případě, že hodnotu nastavíme na 0, bude kapacitor charakterizován kapacitou (μF), v případě že Copt=nastavené frekvenci bude hodnota kapacitoru charakterizována susceptancí (μS). Po rozkliknutí záložky „Output“ se nám zobrazí nastavení výstupních parametrů simulace. Důležité je mít zatrhnutou volbu „Plotted output“, aby bylo možné vykreslit průběhy sledovaných veličin.

V dalších záložkách lze nastavit doplňující parametry pro simulaci, ale pro většinu simulací lze ponechat výchozí nastavení.

Kompilaci souboru *.atp, který je vstupním pro program ATP – EMTP spustíme příkazem „Make File As...“ tím se vytvoří ATP datový soubor. Příkazem „run ATP“ se spustí výpočet programu ATP, jehož produktem jsou soubory s příponou *. LIS a *.PL4. Soubor LIS je výstupní datový soubor a stejně jako soubor ATP se dají prohlížet z prostředí ATPDraw volbou „Atp Edit“.

Soubory s příponou PL4 jsou komprimovaná grafická data. Spuštěním grafického postprocesoru je možné klávesou „F8“ nebo položkou „Run plot“. Cesta k souborům grafického postprocesoru se natavuje v menu „Tools“ v záložce „Preferences“ v ATPDraw. [9]

5.2.2 GTPPLOT

Po výpočtu přechodového děje vznikne soubor *.pl4. Tento soubor obsahuje průběhy grafů veličin. Pro zobrazení těchto průběhů je třeba externí program – grafický procesor. Jedním z těchto programů je GTPPLOT, který je multiplatformní. Umožňuje zpracovávat až 100000 bodů v 1000 proměnných. Ovládání programu je pouze přes textové prostředí pomocí příkazů zadávaných do konzole. Zobrazené průběhy je možné exportovat do různých formátů a dále s nimi pracovat. Program není nutné instalovat. [13]

5.2.3 PlotXY

Samostatný program pro zobrazování souborů *.pl4. Má grafické uživatelské rozhraní a práce s ním je jednodušší než s programem GTPPLOT. Bohužel program neobsahuje funkce navíc pro zpracování dat. [11]

5.2.4 WPCPlot

Je grafický program pro výstup z ATP, který běží pod operačním systémem Microsoft Windows. Hlavními výhodami jsou:

- Maximálně 6 proměnných ve stejném diagramu
- Křivky i pozadí jsou plně nastavitelné
- Možnost čtení pro získání okamžité hodnoty zakreslené křivky
- Zvětšování zakreslené funkce
- Kopírování grafu do schránky
- Ukládání obrázku ve formátu *.bmp
- Identifikátor křivky pro monochromatický formát *.bmp
- Integrovaná funkce nápovědy

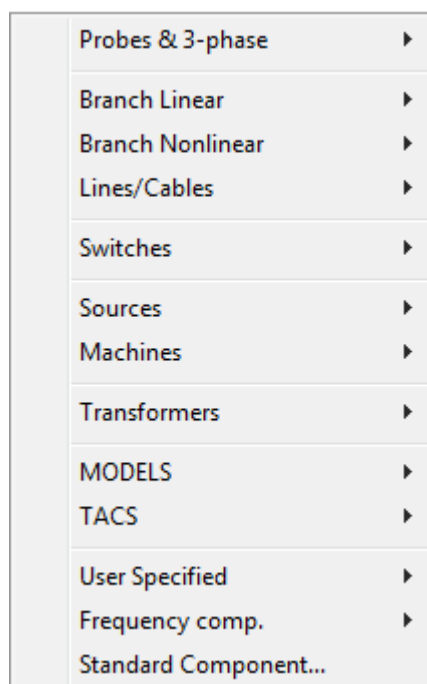
[13]

5.3 Obvodové prvky

V této kapitole bych chtěl uvést přehled některých obvodových prvků. Nabídku s prvky vyvoláme pravým kliknutím myši na pracovní ploše programu ATPDraw. Po vybrání prvku jej lze ihned vložit na pracovní plochu, otáčet s ním nebo ho přesunovat.

5.3.1 Propojování obvodových prvků

Kreslení vodiče začíná kliknutím na vývody prvku a následným kliknutím se vodič ukončí. Uzly jsou vytvářeny na vodiči zcela automaticky. Tento druh propojení je však modelován jako spojení ideální, tudíž nemá impedanci a nevzniká na něm úbytek napětí. Vodiče lze pojmenovat nebo barevně odlišit. [12]



Obr. 15 – Nabídka obvodových prvků

5.3.2 Zdroje

Všechny zdroje, které můžeme najít v programu, najdeme v nabídce obvodových prvků pod příkazem „Sources“. Pro vložení střídavého zdroje buďto napěťového nebo proudového slouží prvek „Ac type“.

Poté co prvek vložíme do pracovního okna, se provede jeho nastavení, o jaký typ se bude jednat. Nastavují se zde parametry jako: počet fází, velikost amplitudy, frekvence a doba činnosti zdroje. Pro vložení stejnosměrného zdroje napětí nebo proudu volíme příkaz „DC type“. [12]

5.3.3 Spínače

Při spínání a vypínání obvodů je třeba volit z řady spínačů „Switches“. ATPDraw nabízí hned několik druhů. Základním časově řízeným spínačem je „Switch time controled“ u tohoto spínače je možné nastavit čas rozepnutí a sepnutí. Pro trojfázovou soustavu je nutné použít „Switch time 3-ph“.

Spínač, řízený napětím se pak vloží příkazem „Switch voltage contr.“. [12]

5.3.4 Lineární prvky

Pro vkládání lineárních prvků slouží skupina „Branch lienar“. Základními prvky jsou tyto tři: „resistor“, „capacitor“, „induktor“. Pokud však chceme vložit obecnou zátěž, volíme prvek jeden místo těchto tří a to prvek „RLC“. Při kreslení jednopólové zátěže vložíme prvek „RLC 3-ph“. Zátěž zapojená do hvězdy se vloží prvkem „RLC-Y“, zátěži zapojené do trojúhelníka odpovídá prvek „RLC-D 3-ph“.

Dále můžeme vložit kondenzátor s nenulovým počátečním napětím pomocí prvku „C:U(0)“. Nápodobně pak induktor s nenulovým počátečním proudem „L:I(0)“. [12]

5.3.5 Nelineární prvky

Program ATP umožňuje modelovat nelineární prvky ze znalostí jejich voltampérové charakteristiky, které se nadefinují daným počtem bodů této charakteristiky. S výhodou je možné toto použít při modelování nelineární zátěže, modelu spínaného oblouku apod. Nelineární prvky jsou v ATPDraw umístěny pod skupinou „Branch nonlinear“. Můžeme zde nalézt např.: nelineární induktor, reálný nelineární induktor, nelineární rezistor, nelineární časově závislý rezistor nebo ZnO omezovač což je odpor s exponenciální závislostí proudu.

5.3.6 Transformátory

V programu ATP je možné modelovat různé druhy transformátorů. Je možné přímo zadávat model ideálního 1-fázového transformátoru nebo model 1- a 3-fázového transformátoru 2- nebo 3-vinuťového s danou magnetizační charakteristikou. Přitom se zadávají hodnoty T článku náhradního schématu transformátoru. Další možností zadávání poskytuje procedura „BCTRAN“, která potřebné data vygeneruje ze štítkových hodnot transformátoru.

Ideální transformátory lze vložit prvky „Trafo_I a Trafo_I3“ podle počtu fází. Pro model s uvažovanou saturací volíme prvky „Trafo_S a Sattrafó“. [11]

5.3.7 Měřicí prvky

Pro měření veličin v modelu sítě jsou používány sondy „Probes“. Napěťová sonda „Probe volt“ měří napětí proti zemi, v třífázovém obvodu se vybírá fáze, která bude měřena. V případě měření napětí mezi dvěma uzly volíme napěťovou sondu „Probe Branch volt“. Sondu pro měření proudu najdeme pod položkou „Probe current“, u které lze v trojfázové soustavě zvolit, které fáze budeme měřit.

Prvek „Splitter“ umí rozdělit jeden vodič do trojfázové soustavy nebo tyto tři vodiče naopak sloučit v jeden. K transpozici fází nám slouží prvky „Transp1 - Transp4“. [11]

5.3.8 Točivé elektrické stroje

Modelováním točivých elektrických strojů se dají simulovat i elektromechanické přechodové děje v elektrizačních soustavách. Sem patří problematiky stability, ostrovní provoz nebo rozběhy motorů apod. ATP má k dispozici model synchronního stroje SM59 a model univerzálního motoru AM. [11]

5.4 Shrnutí teorie o programu ATP – EMTP

Program ATP – EMTP ve velké míře usnadňuje řešení přechodných jevů v elektrických obvodech. Je vyvíjen od 80. let a specializuje se přímo na modelování v energetice, což se promítá i na knihovnu prvků. Knihovna tak obsahuje základní prvky, ale také přímo specializované. Výhodou knihovny je také možnost doplnění prvku, který uživatel potřebuje. ATP také obsahuje modely točivých strojů a umožňuje tak řešení mechanických přechodových dějů. V současnosti je tento software využíván významnými společnostmi na elektroenergetickém trhu.

Program je dostupný pouze licencovaným uživatelům a jen pro ně je volně šířitelný. Na rozdíl od programu QUCS je ATP stále jen v anglické verzi. Pro snadnější ovládání je třeba však použít grafické rozhraní ATPDraw. Díky ATPDraw se program snadněji ovládá (způsobem Drag&Drop). Je možná i grafická editace prvků. Modelování prvků je s ním velice jednoduché, jediný problém který

činí program méně přehledným je množství nastavitelných položek. Chybí zde i aktuální hlášení o chybách během simulace, které ztěžuje opravu chyb v obvodu. Z vlastních zkušeností bych program spíše doporučil už pro pokročilejší uživatele, kteří mají zkušenosti s jinými simulačními programy. V poslední řadě bych vytknul programu nutnost použití externích programů pro vykreslení průběhů a grafů. Např. u PlotXY není možné nastavit základní vlastnosti grafu jako barvy průběhů, styl mřížky a měřítko.

6 Praktický příklad simulace

V této kapitole se budu zabývat praktickou ukázkou simulace a porovnávat oba programy. Bude zde naznačeno nastavení obou programů před simulací a vytvoření schémat.

Model simulace je tvořen VVN vedením 220 kV a pro srovnání programů simulují přechodný děj na jedné fázi s fázovým napětím 127 kV.

Vedení je ve stavu naprázdno a simulují ho při úhlu sepnutí 0° a 90° . Simulace proběhla na modelu T-článku a π -článku.

Při simulování v programu ATP-EMTP jsem používal grafický procesor ATPDraw.

6.1 Nastavení simulace a tvorba grafů

Napětí na jedné fázi VVN vedení představuje zdroj 127 kV s nastavenou amplitudou 179,6 kV a frekvencí 50 Hz. Jelikož napětí 127 kV je efektivní, bylo potřeba ho přepočítat na hodnotu maximální, se kterou počítají oba programy. Pro výpočet amplitudy z efektivní hodnoty platí:

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_{ef} \quad (6.1)$$

Po dosazení do vztahu 6.1 :

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_{ef} = \sqrt{2} \cdot 127 = 179,6 \text{ kV}$$

Vedení VVN je nahrazeno T-článkem nebo π -článkem, tyto články se skládají z lineárních prvků RLC.

Hodnoty prvků pro T-článek:

- $R = 21 \text{ } \Omega$
- $C = 2,674 \text{ } \mu\text{F}$
- $L = 223 \text{ mH}$

Hodnoty prvků pro π -článek:

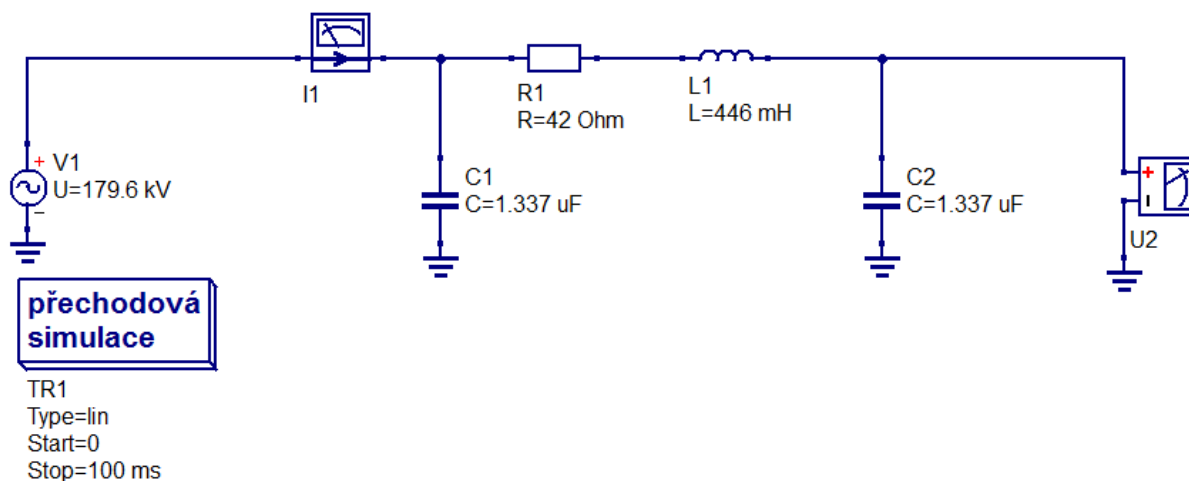
- $R = 42 \text{ } \Omega$
- $C = 1,337 \text{ } \mu\text{F}$
- $L = 446 \text{ mH}$

Dále bylo potřeba měřit proud na začátku vedení a napětí na konci vedení. Tyto 2 veličiny jsem pak vyexportoval do souborů *.csv z QUCSu a *.adf z PlotXY, které se pak dají zpracovávat v tabulkovém procesoru, např. Excel. Oba programy umí zobrazit grafy, ale nejde je dále graficky upravovat. Proto jsem grafy zpracoval v Excelu.

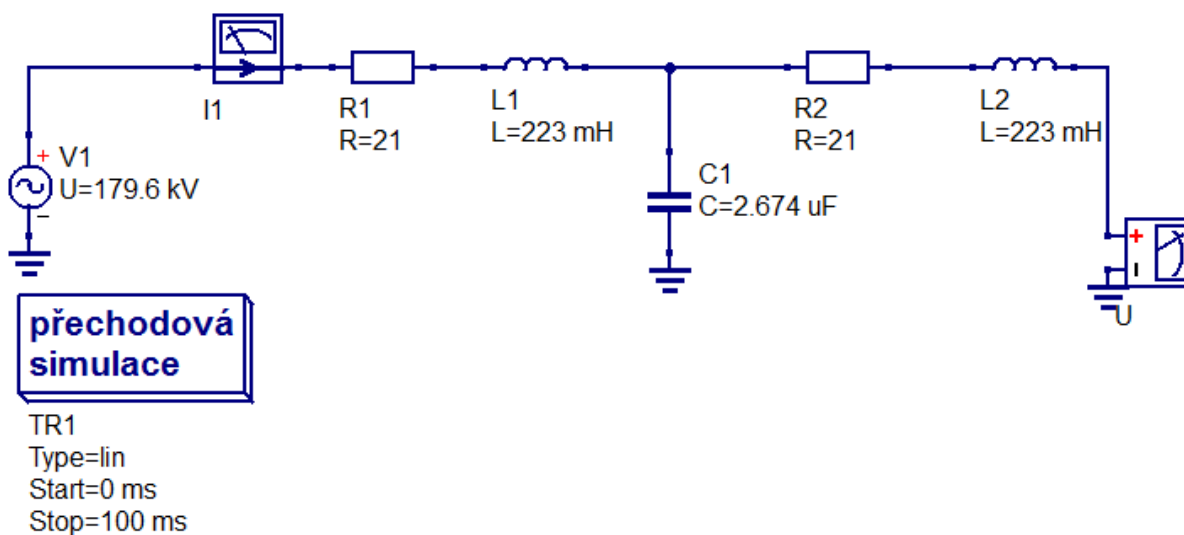
Nastavení simulace je v obou programech téměř stejná. Srovnání bude provedeno tak že proběhne simulace v obou programech a budou vyhodnoceny jejich vlastnosti.

6.2 Simulace v programu QUCS

Program QUCS je velice jednoduchý na ovládání. Po spuštění programu je nejprve nutné vytvořit nový projekt pomocí tlačítka v hlavní nástrojové liště (Obr. 2), nebo klávesové zkratky „Ctrl + N“. Otevře se prázdné pracovní okno, do kterého můžeme vkládat komponenty a sestavovat schéma. Nastavení jednotlivých prvků se provede dvojklikem na prvek.



Obr. 16 – Obvodové schéma π -článek



Obr. 17 – Obvodové schéma T-článek

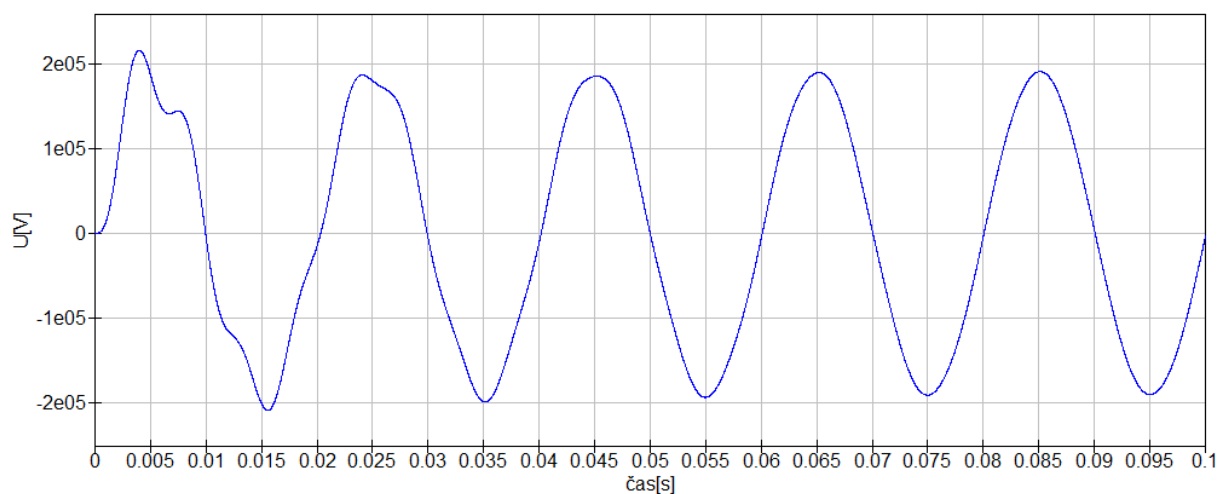
Pro simulování přechodných dějů v programu QUCS je třeba nastavit simulaci transient čili přechodovou, aby simulace mohla být provedena, je potřeba jednotlivé prvky uzemnit jinak program nahlásí chybu a simulace se neprovede. Nastavení přechodové simulace klikneme dvakrát na obdélník s příslušným názvem. Po rozkliknutí se zobrazí tabulka s dvěma záložkami. Nás bude zajímat pouze

záložka první „Sweep“ zde se provádí nastavení jednotlivých parametrů. Pro simulaci obou schémat bylo použito totožné nastavení.

Obr. 18 – Nastavení přechodové simulace (Qucs)

Celkový čas simulace jsem zvolil 100ms, aby šly vidět po přechodovém ději i ustalující se periody. Řádek „počet“ označuje celkový počet bodů v grafu, čím více tím detailněji bude zakreslen. V mém případě jsem zvolil 10 000, jelikož grafy v Excelu jsou při této hodnotě dostatečně detailní a víc bodů nebylo třeba. Délku kroku program zvolil sám. Po nastavení už zbývá pouze schéma simulovat pomocí tlačítka na hlavní nástrojové liště (Obr. 2), nebo klávesovou zkratkou „F2“.

Proud i napětí jsem si nechal vykreslit v programu a poté následně vyexportoval do souboru *.csv. Exportování se provede tak, že označíme křivku průběhu a v hlavním menu (Obr. 2) pod záložkou „Projekt“ klikneme na funkci „Vyexportovat do CSV“.

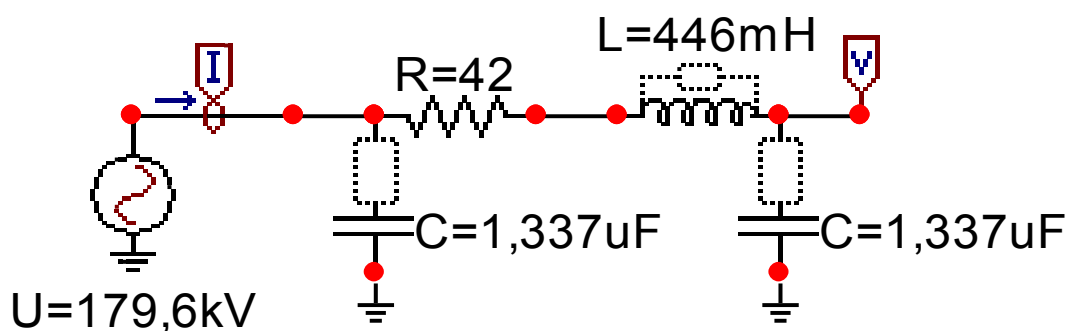


Obr. 19 – Ukázka průběhu napětí z programu QUCS

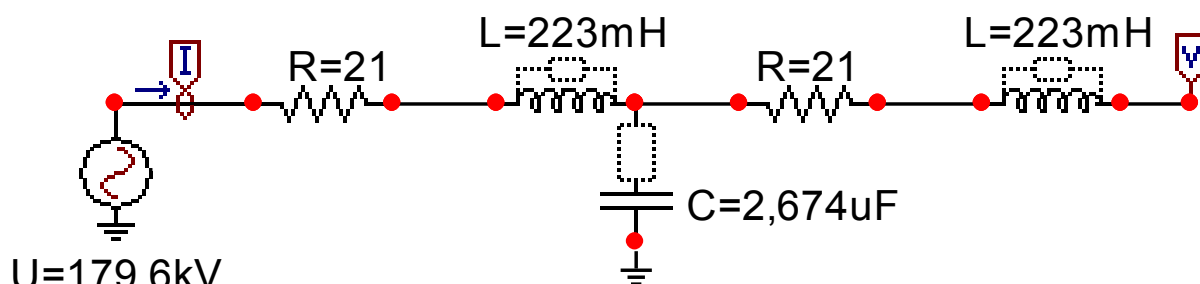
6.3 Simulace v programu ATP – EMTP

Celá simulace proběhla v grafickém procesoru ATPDraw. Po otevření programu je třeba založit nový projekt, ten se vytvoří pomocí ikony na nástrojové liště, nebo v záložce „File“ příkazem „New“. Do nového projektu už můžeme následně vkládat prvky. Editace prvků je stejná jako v programu QUCS.

V modelu je potřeba nastavit koeficient K_p u indukčnosti a K_s u cívky. Tento koeficient eliminuje problém s matematickými oscilacemi. V obvodu nastavení koeficientů se projeví graficky jako odpor prvku. Nastavení provedeme tak, že rozklikneme např. indukčnost a do řádku K_p napíšeme číslo z rozsahu, který se dá zjistit po kliknutí na tlačítko „Help“ u daného prvku. Otevře se okno s anglickým popisem prvku a pravidly pro zadávání hodnot. Zde taky najdeme rozmezí, v jakých se zadávají koeficienty K_p a K_s . V mém modelu jsem zvolil $K_p = 0,15$ a $K_s = 7,5$ což jsou podle programu ATPDraw typické hodnoty pro tyto prvky.

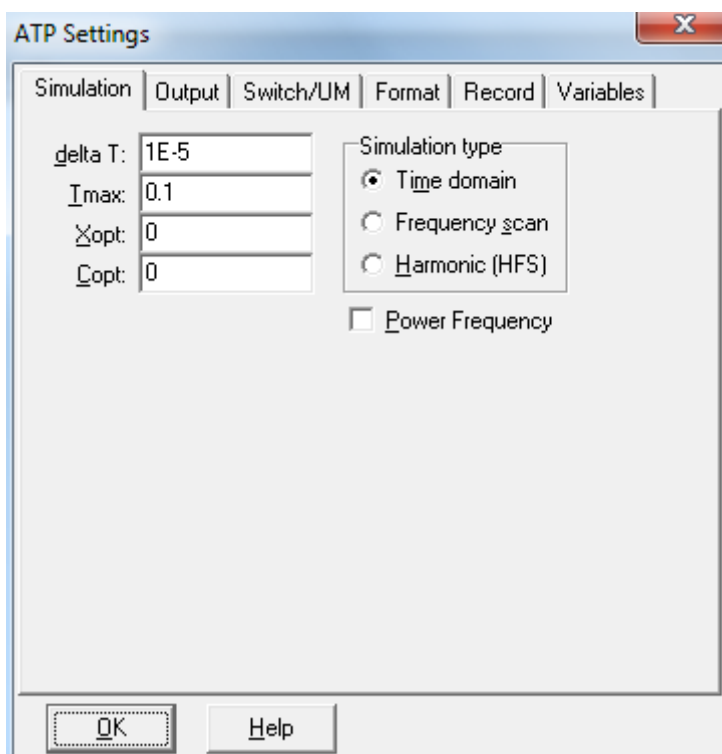


Obr. 20 – Obvodové schéma π -článek



Obr. 21 – Obvodové schéma T-článek

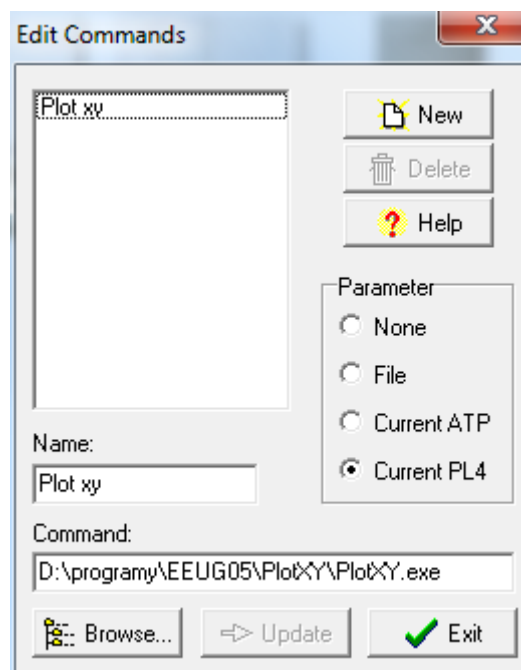
Po zhotovení modelu je třeba jej uložit a vytvořit datový soubor *.atp příkazem „Make file as...“ v záložce „ATP“. Předtím než dojde k simulaci je potřeba definovat podmínky simulace. Nastavení simulace se provádí příkazem „Settings“ v záložce „ATP“ nebo klávesovou zkratkou „F3“. Do políčka „Tmax“ zapisuju celkový čas simulace tedy 100ms, dále nastavíme krok „delta T“. Pro porovnání jsem nastavil krok také na $1E^{-5}$. Zbytek nastavení ponechám původní.



Obr. 22 – Nastavení přechodové simulace (ATPDraw)

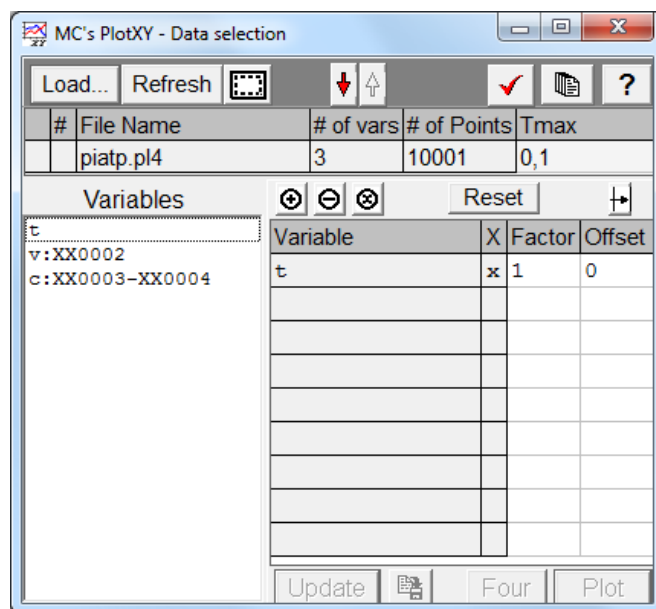
Poté můžeme spustit samotnou simulaci skrze příkaz „run ATP“ v záložce „ATP“. Je-li simulace provedena, vytvoří se soubory s příponou *.lis a grafický soubor s příponou *.pl4. Do souboru *.lis je zapsáno řešení simulace z datového souboru *.atp. Grafický soubor *.pl4 však nejde prohlížet v samotném programu ATPDraw, je třeba použít externího programu PlotXY, který je součástí instalačního balíku ATP.

Proto, abychom mohli zobrazit grafy v PlotXY, je důležité ještě nastavit ATPDraw. V záložce „ATP“ se zvolí příkaz „Edit Command“ poté se objeví okno. V tomto okně se zvolí možnost „New“ a napíše se název, který pak bude zobrazen v záložce „ATP“. Potom se zadá parametr „current PL4“ na pravé straně okna a do řádku „Command“ se vyhledá správná cesta na soubor PlotXY.exe. Nastavení příkazu se ukončí tlačítkem „Update“. Celé nastavení je třeba ještě uložit, aby zůstalo i při dalším spuštění programu, jinak by se musel příkaz zadávat znovu. Uložení se provede tak, že rozklikneme záložku „Tools“ a v ní klikneme na příkaz „Save Options“. Spuštění PlotXY z programu ATPDraw se poté může provést pomocí klávesové zkratky „Ctrl+Alt+0“.



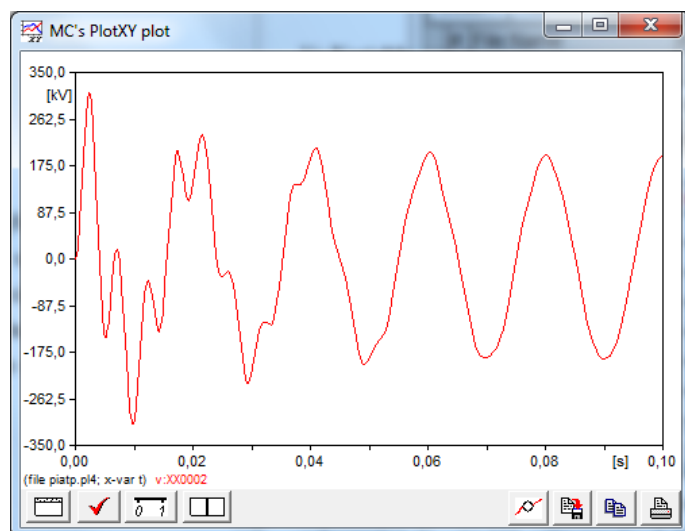
Obr. 23 – Okno Edit Command

Po úspěšném řešení následuje spuštění programu PlotXY. Otevře se okno programu, ve kterém lze zvolit průběhy, které chceme vykreslit. V poli „Variables“ se vybere znázorňovaná veličina (v: obvykle pro napětí a c: proud) a to kliknutím levým tlačítkem pro levou osu závisle proměnné a pravým tlačítkem pro pravou. Stiskem tlačítka „Plot“ dojde k zobrazení vybraných průběhů v novém okně.



Obr. 24 – Okno programu PlotXY

Kliknutím levým tlačítkem myši na vybraný průběh dojde k jeho vymazání z výběru, tlačítkem „Reset“ se smaže celý výběr. Vlevo od tlačítka se nachází symboly znamének, které umožňují volit výběru součet, rozdíl nebo součin dvou veličin z jednoho souboru. Tlačítko „Four“ provádí Fourierovu analýzu jednoho průběhu, která se objeví v dalším okně. Svislým pravitkem se v něm přechází od jedné harmonické k další. Tlačítko s červenou fajfkou umožňuje volit podmínky analýzy a stejné tlačítko v základním okně PlotXY také nabízí další volby.



Obr. 25 – Okno grafických průběhů programu PlotXY

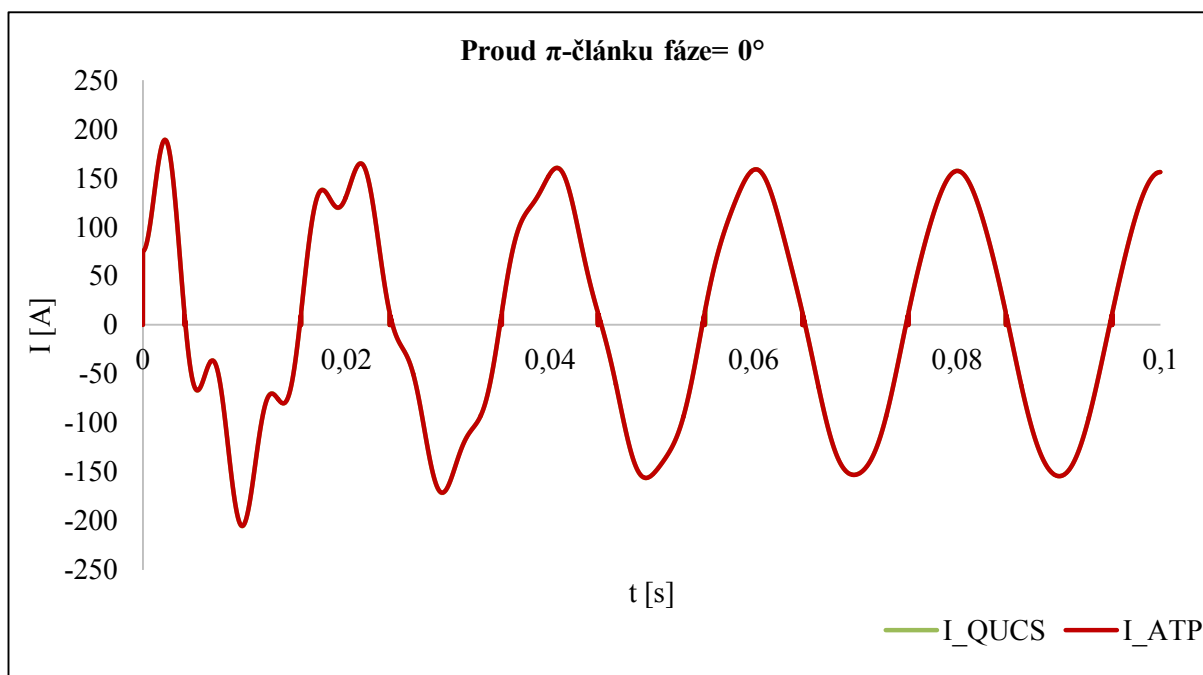
První tlačítko dolní lišty, v okně průběhů, vytváří komentářový řádek nad grafem, druhé je pro podrobnější nastavení grafu např. zapnutí mřížky, třetí dovoluje upravit měřítka os a čtvrté je svislé pravítko na odečtení hodnot. Tlačítko „Mark“ provede označení jednotlivých průběhů grafickými symboly. Další tlačítko „Write WMF file...“ uloží graf do souboru, který pak lze otevřít v obrázkovém editoru. Tlačítko „Copy to clipboard“ uloží kopii okna v paměti počítače a tu lze pak vložit také do obrázkového editoru. Poslední tlačítko na dolní liště je „Print“ pomocí něj se dají průběhy přímo tisknout.

Proto, abych mohl srovnat průběhy s programem QUCS jsem si průběhy vyexportoval pomocí tlačítka „Save variables...“, které se nachází vedle tlačítka „Four“ což můžeme vidět na Obr. 24. Export se provede do souboru *.adf . Tento soubor jsem dále editoval v Excelu, kdy v jednom sloupci jsou uloženy hodnoty pro čas a v druhém hodnoty znázorňované veličiny.

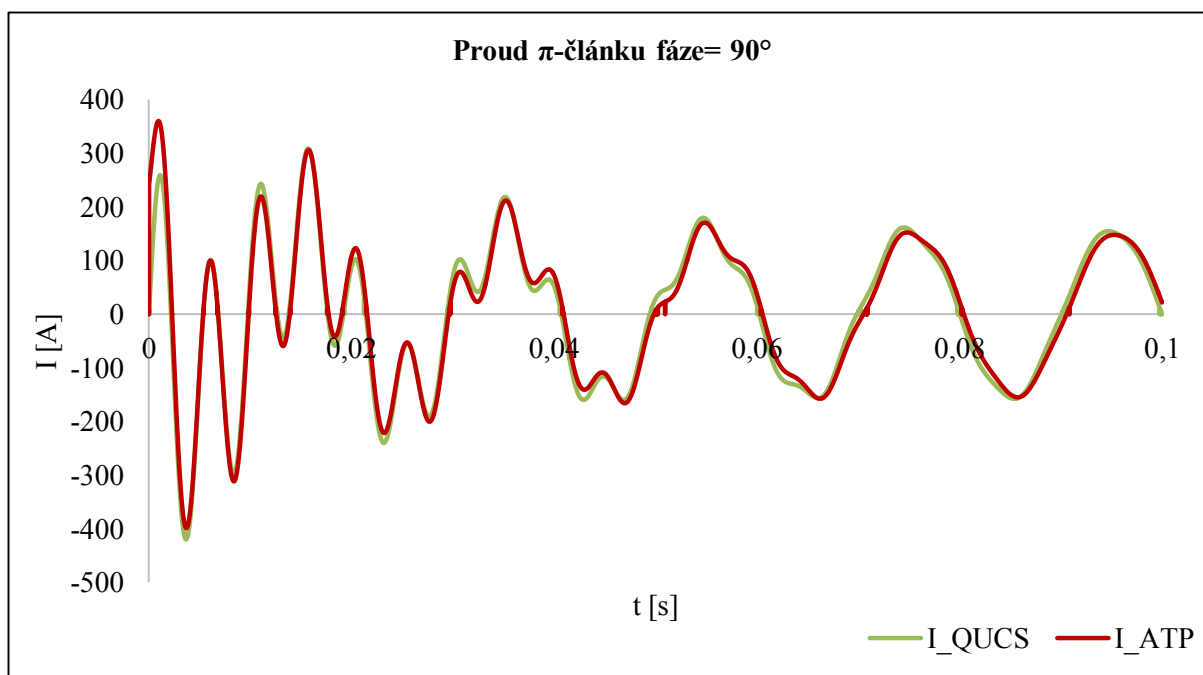
Jelikož mi program ATPDraw při simulaci zapnutí v 0° generoval průběhy napětí jako QUCS při 90° a zároveň začínal zápornou periodou, musel jsem na zdroji nastavit úhel zapnutí 270° . Při tomto úhlu už ATPDraw simuloval stejné průběhy napětí. Nastavení úhlu bylo třeba ošetřit i při simulaci 90° , kdy v ATPDraw jsem musel nastavit úhel 0° aby průběhy byly srovnatelné s programem QUCS.

7 Přehled nasimulovaných průběhů

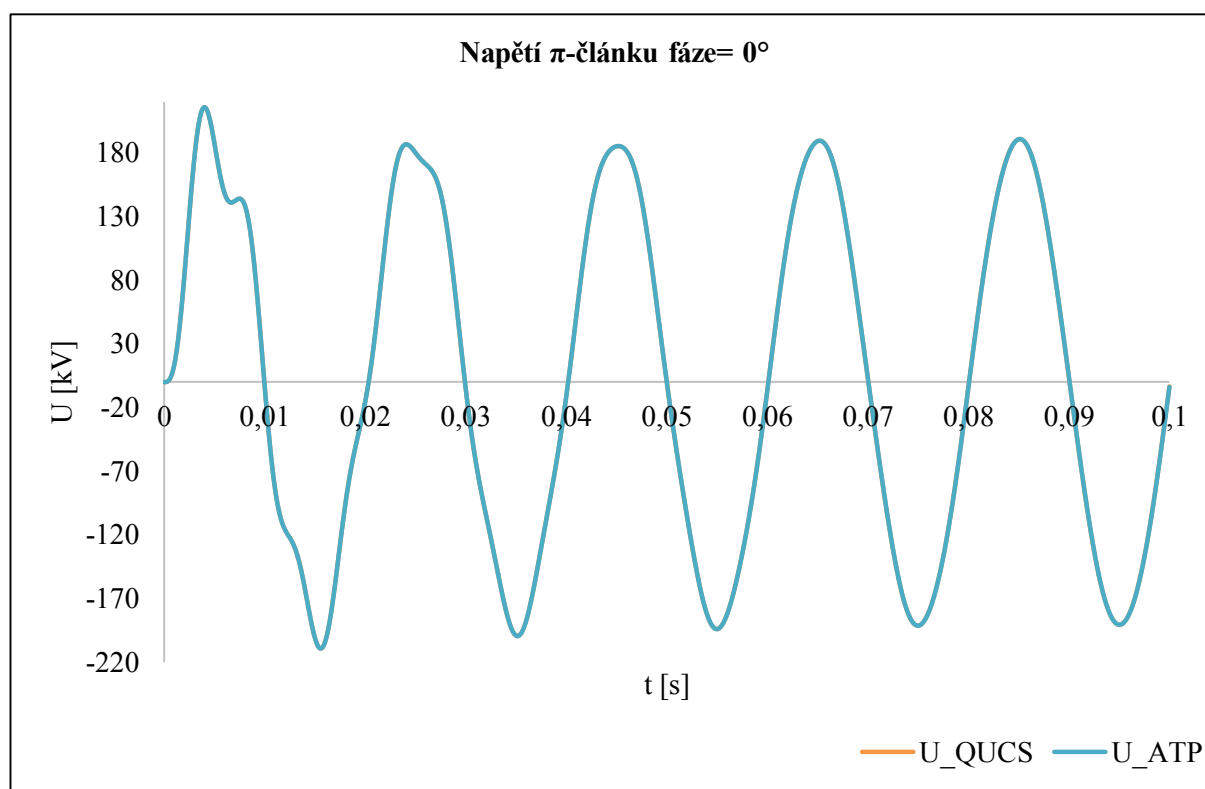
V této kapitole jsou zobrazeny průběhy jednotlivých veličin sledovaných v daném obvodu v závislosti na čase. Grafy ukazují průběhy napětí na konci vedení a průběhy proudu na začátku vedení. V jednom grafu jsou vždy zobrazeny dvě křivky z obou programů, aby je bylo možno mezi sebou porovnat.



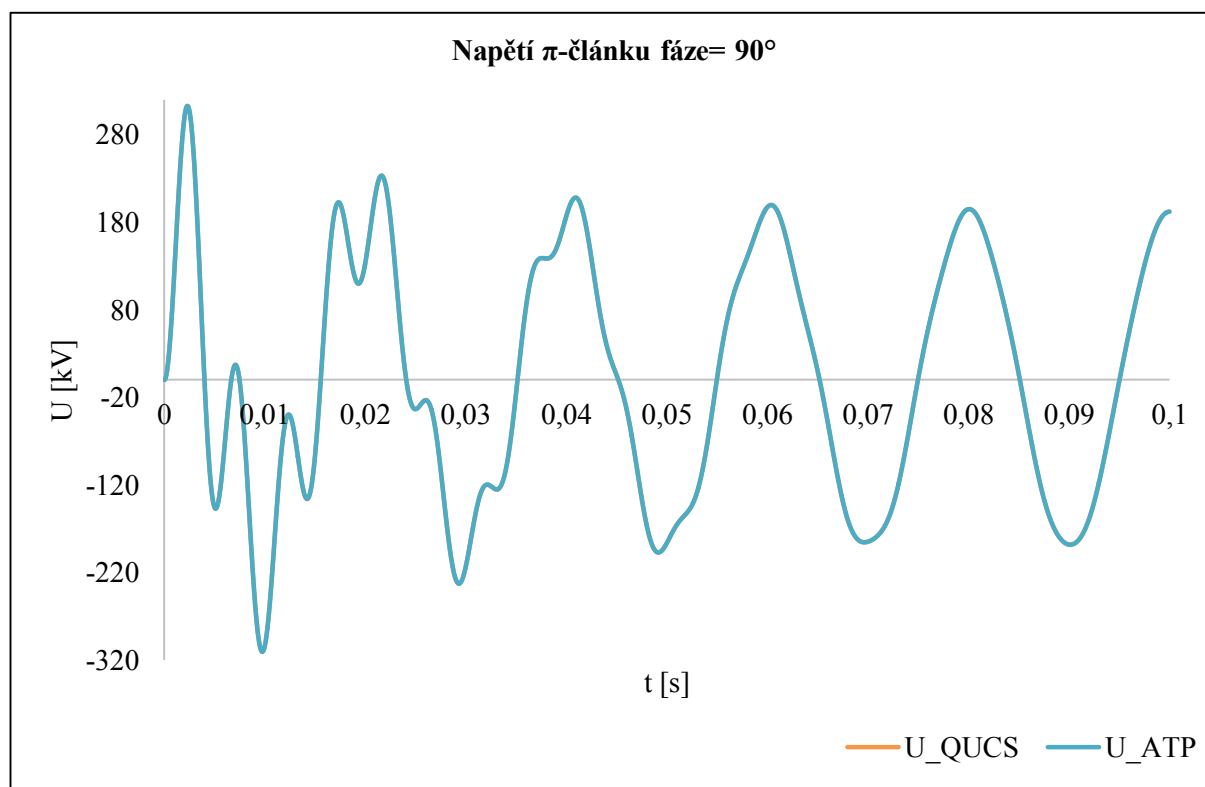
Obr. 26 – Graf proudu π -článku fáze= 0°



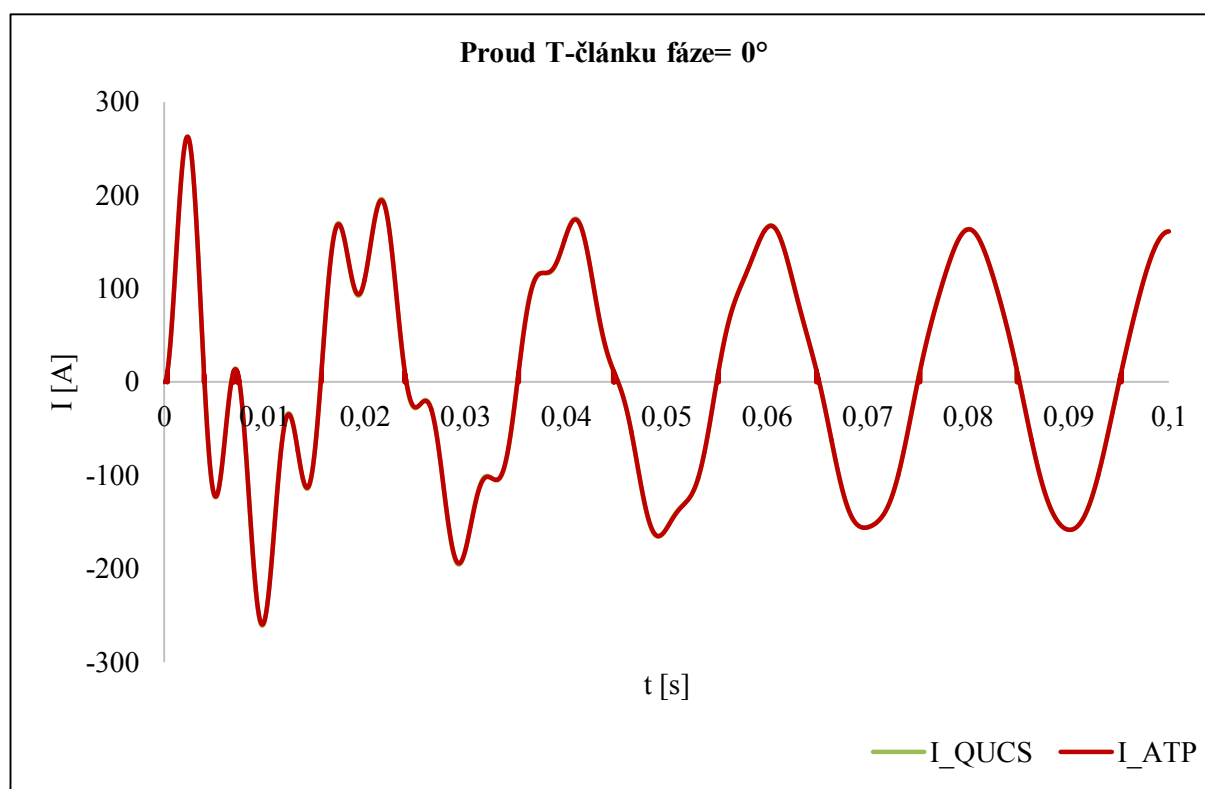
Obr. 27 – Graf proudu π -článku fáze= 90°



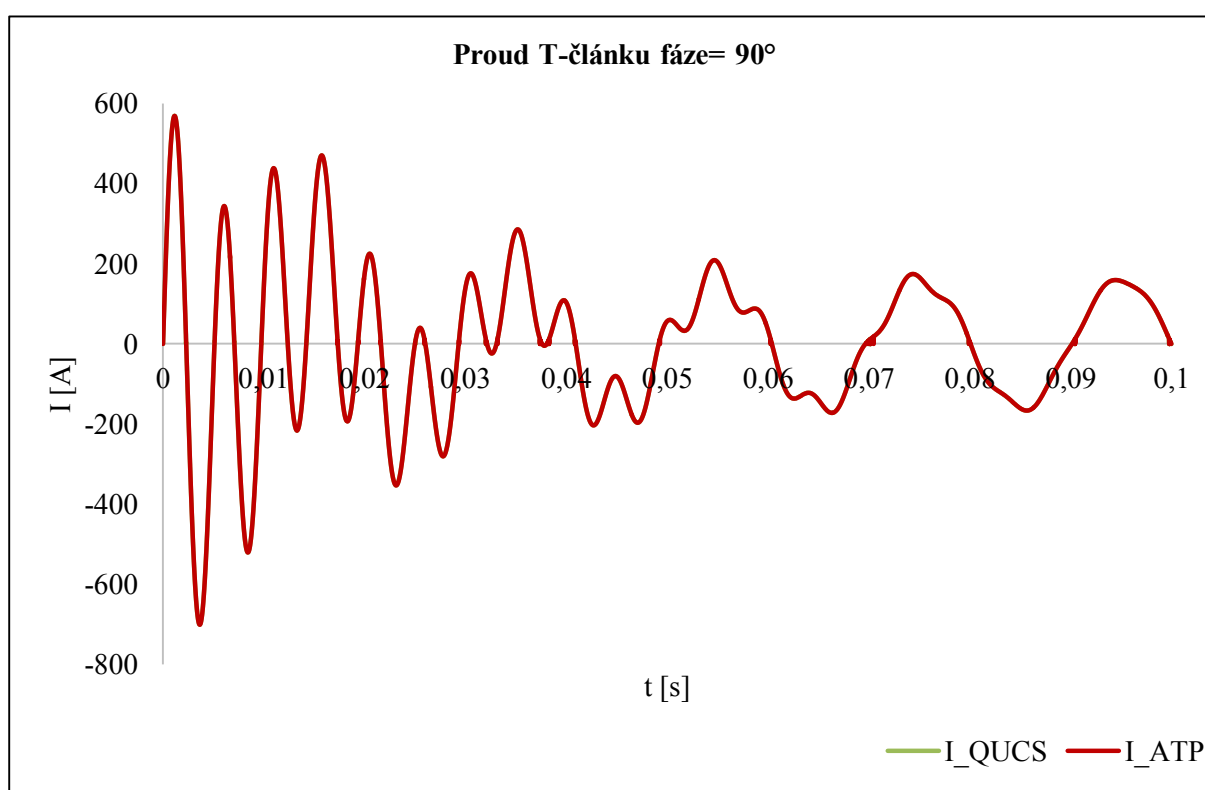
Obr. 28 – Graf napětí π -článku fáze= 0°



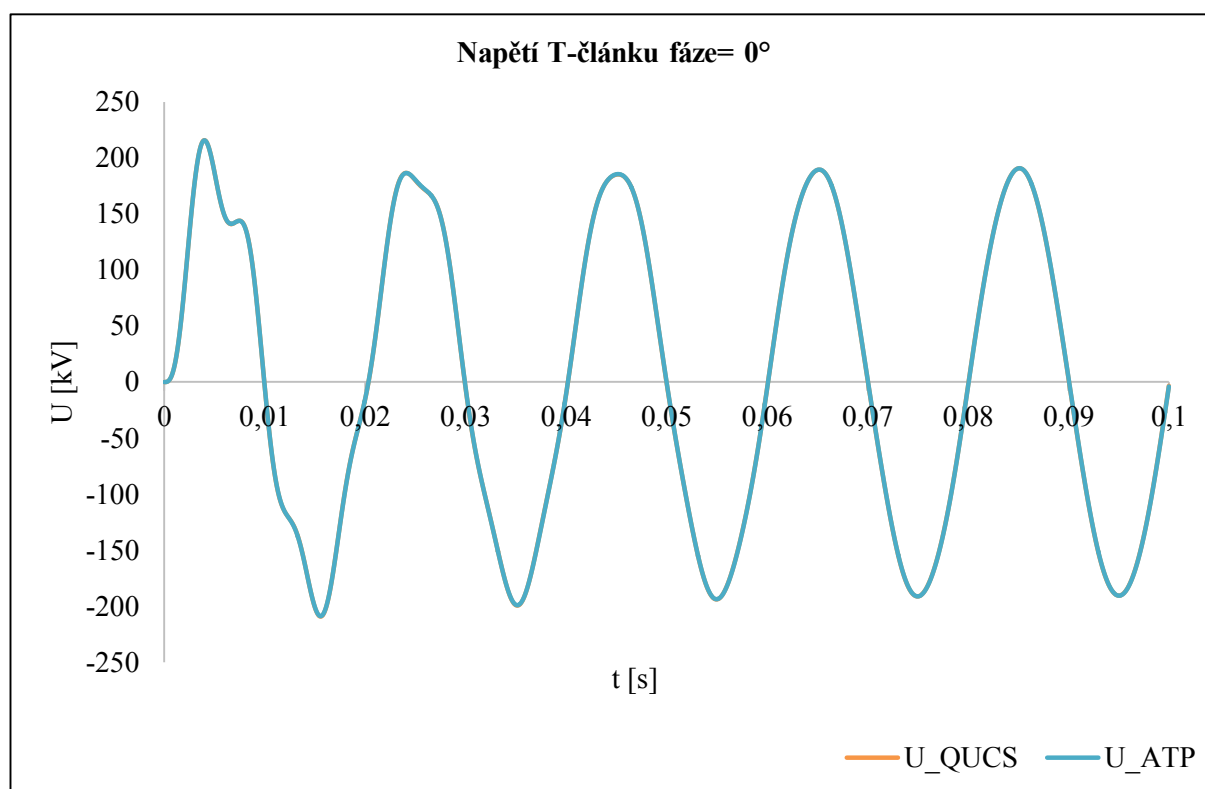
Obr. 29 – Graf napětí π -článku fáze= 90°



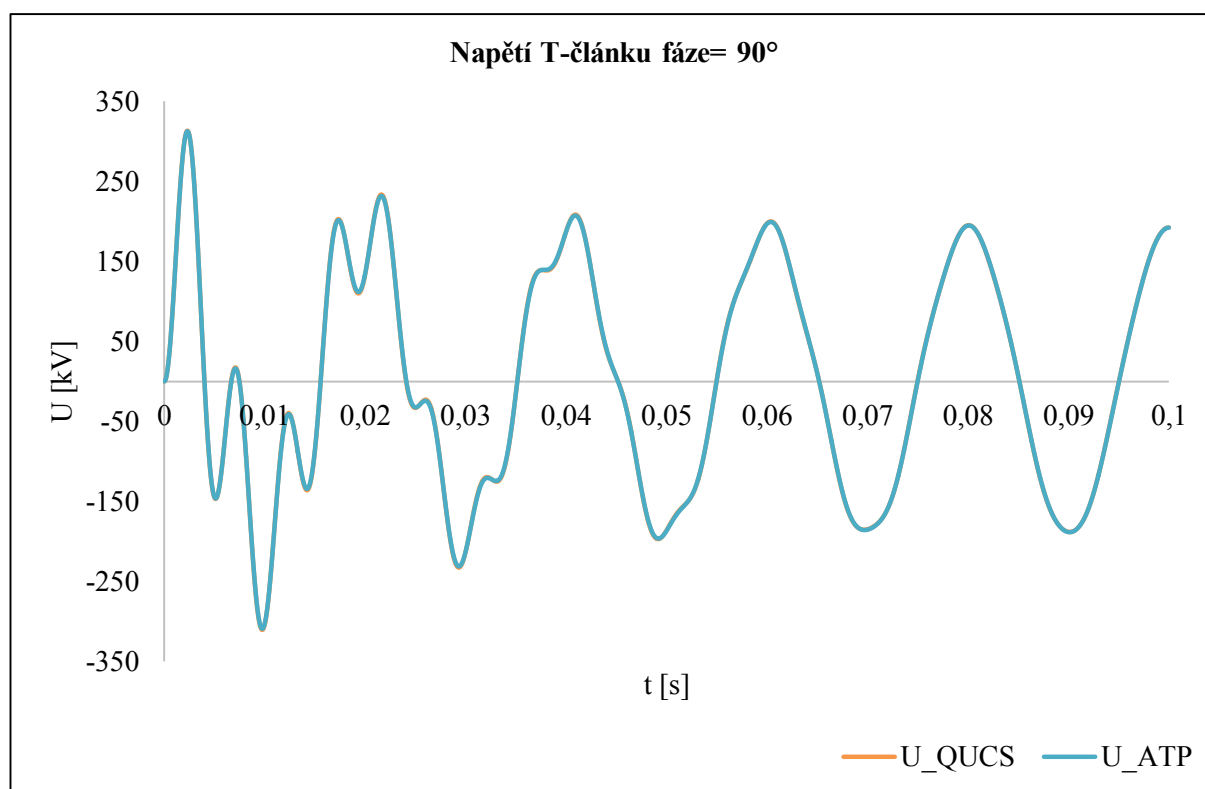
Obr. 30 – Graf proudu T-článku fáze= 0°



Obr. 31 – Graf proudu T-článku fáze= 90°



Obr. 32 – Graf napětí T-článku fáze= 0°



Obr. 33 – Graf napětí T-článku fáze= 90°

8 Poznatky z programů QUCS a ATP – EMTP

Nejlépe v tomto porovnání simulačních programů z hlediska simulací v energetice vychází podle uvedených kritérií program ATPDraw. Jako hlavní požadavek pro srovnání těchto dvou programů jsem zvolil vhodnost pro simulaci v energetice. Tato vlastnost je také ohodnocena nejvíce body.

Zde taky maximum získal program ATPDraw, který je zaměřen speciálně na simulaci problémů v energetice. Program obsahuje specializované modely, které v QUCSu chybí.

Program QUCS je spíše pro univerzálnější použití. Obsahuje celou řadu simulací a přitom si zachovává jednoduchost ovládání. Je rychlý a zároveň intuitivní na ovládání.

Sestavení simulovaného obvodu je v obou programech velice snadné, až na rozdílné způsoby propojení prvků. ATPDraw vyžaduje trpělivost, než si zvyknete na chování programu. Je třeba si taky pohlídat, v jakých jednotkách je potřeba vložit prvkům jejich hodnotu. QUCS se v tomto liší od ATPDraw tím, že v QUCSu je možnost vkládání na uživateli. Tím je myšleno to, že je možné vložit hodnotu jak v základních jednotkách např. 0,001F tak i v násobcích základní jednotky např. 1mF. V programu ATPDraw je potřeba si nejprve zjistit v jakých jednotkách je nutno hodnotu zadat.

Tvorba grafických výstupů je také rozdílná. QUCS je schopen si průběhy vykreslit sám, kdežto u ATPDraw je nutno použít externí program. U obou programů je volba pro vyexportování průběhů do souboru.

Hodnocené vlastnosti	ATPDraw	QUCS
Přehlednost a uživatelská přívětivost	3/5	5/5
Obsah knihovny	4/5	2/5
Editace a tvorba prvků	4/5	3/5
Práce s výstupními daty	2/5	4/5
Vhodnost pro simulaci v energetice	10/10	6/10
Celkový součet:	23/35	20/35

Tabulka 8-1 Celkové srovnání

9 Závěr

V této práci jsem se věnoval simulačním programům EMTP-ATP a QUCS, které se používají pro simulaci. Tyto programy jsem měl podrobněji popsat z hlediska simulací v elektroenergetice. V první řadě jsem definoval základní pojmy pro simulaci samotnou.

Po definici základních pojmů jsem rozepsal specifické úlohy, které je možné simulovat v energetice. Následně jsem rozebral a podrobněji popsal oba dva programy. Zejména jsem se věnoval ovládání a uživatelskému prostředí programů. Kapitoly jsem následně završil shrnutím teorie. Po teoretické části jsem přešel k samotné simulaci a vypsání kladů a záporů programu, na které jsem během práce s nimi přišel. Pro porovnání obou programů bylo zapotřebí simulovat jeden a tentýž model. Simulovaný model byl vytvořen z třífázového dlouhého VVN vedení 220 kV. V mém případě jsem simuloval přechodný děj na jedné fázi s fázovým napětím 127 kV. Dále jsem popsal nastavení obou programů pro simulaci přechodného děje a zmínil jsem i poznatky, na které jsem přišel během práce s programy. Údaje získané z obou programů jsem vyexportoval a zpracoval do grafů.

Přínos této práce by mohl být pro ostatní uživatele, kteří se rozhodují jaký program zvolit pro simulaci v elektroenergetice. Na oba programy jsem přihlížel jak z hlediska technického, tak i z hlediska uživatelského. Také se může využít jako názorná ukázka pro začátečníky, kteří se teprve se simulačními programy seznamují.

10 Použitá literatura

- [1] Křivý, I., Kindler, E. Simulace a modelování, Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ostrava 2001.
Dostupné z: <http://vendulka.zcu.cz/Download/Free/SkriptaKindlerMS.pdf>
- [2] Horáček, T. Počítačová podpora výpočtů v energetice, nové trendy v simulacích, Brno, 2008. Diplomová práce na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně.
Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/17805/xhorac07_thesis.pdf?sequence=1
- [3] Wikipedia: Počítačová simulace, [online] [cit. 2014-03-06]
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačová_simulace
- [4] Význam přechodových jevů, [online] [cit. 2014-03-07]
Dostupné z: <http://www.isstechn.cz/objekty/prechodove-deje.doc>
- [5] Harmonické – lepší prevence než náprava. [online] [2014-03-07]
Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27733
- [6] Zemní spojení, [online] [2014-03-08]
Dostupné z: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/zemni_spojzeni/Zemni%ED%20spojeni%ED%20-%20opora.pdf
- [7] Nadproudy a zkratové poměry ve vedení (základní pojmy 13.), [online] [2014-03-08]
Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/nazpvv030114/view>
- [8] Jahn, S., Borrás, J., A Tutorial Getting Started with Qucs, 2007, [online] [2014-03-10]
Dostupné z: <http://qucs.sourceforge.net/docs/getstarted.pdf>
- [9] Mach, V., EMTP – ATP, [online] [2014-03-13]
Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~mah30/>
- [10] Kizilcay, M., Alternative Transients Program Features, [online] [2014-03-13]
Dostupné z: <http://www.emtp.org/>

-
- [11] Medved', D., Hvizdoš, M., Modelovanie v prostredí EMTP – ATP, Technická univerzita v Košiciach, Košice 2011,
Dostupné z: <http://people.tuke.sk/dusan.medved/MvEE/EMTP-ATP.pdf>
- [12] Pacula, V, Simulace přetrženého vodiče v distribuční síti za použití programu ATTP-EMTP, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno 2012
Dostupné z:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3471/bp_pacula.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [13] Addition ATP tools, [online] [2014-03-17]
Dostupné z: <http://www.emtp.org/tools.html>

11 Seznam obrázků

Obr. 1 – Čtyři harmonické složky.....	4
Obr. 2 – Hlavní okno programu QUCS	7
Obr. 3 – Knihovna komponentů v programu QUCS	9
Obr. 4 – Ikona funkce „Vodič“	9
Obr. 5 – Ikona funkce „Označení vodiče“	9
Obr. 6 – Obvod s popiskem „spoj“	10
Obr. 7 – Ukázka tabulky	11
Obr. 8 – Ukázka kartézského grafu.....	11
Obr. 9 – Komponenty voltmetr a ampérmetr	11
Obr. 10 – Ukázka z nástroje transcalc.....	12
Obr. 11 – Moduly programu ATP - EMTP	15
Obr. 12 – Hlavní okno programu ATPDraw	17
Obr. 13 – Schématický přehled práce s programem ATP- EMTP.....	18
Obr. 14 – Nastavení simulace.....	19
Obr. 15 – Nabídka obvodových prvků.....	21
Obr. 16 – Obvodové schéma π -článku.....	25
Obr. 17 – Obvodové schéma T-článku	25
Obr. 18 – Nastavení přechodové simulace (Qucs).....	26
Obr. 19 – Ukázka průběhu napětí z programu QUCS	26
Obr. 20 – Obvodové schéma π -článku.....	27
Obr. 21 – Obvodové schéma T-článku	27
Obr. 22 – Nastavení přechodové simulace (ATPDraw).....	28
Obr. 23 – Okno Edit Command.....	28
Obr. 24 – Okno programu PlotXY.....	29
Obr. 25 – Okno grafických průběhů programu PlotXY	29
Obr. 26 – Graf proudu π -článku fáze= 0°	31
Obr. 27 – Graf proudu π -článku fáze= 90°	31
Obr. 28 – Graf napětí π -článku fáze= 0°	32
Obr. 29 – Graf napětí π -článku fáze= 90°	32
Obr. 30 – Graf proudu T-článku fáze= 0°	33
Obr. 31 – Graf proudu T-článku fáze= 90°	33
Obr. 32 – Graf napětí T-článku fáze= 0°	34
Obr. 33 – Graf napětí T-článku fáze= 90°	34

Seznam tabulek

Tabulka 8-1 Celkové srovnání.....	35
-----------------------------------	----